Complex
Control
Systems
ISSN 1310-8255 Proceedings of the International Scientific Conference "Robotics & Mechatronics 2023"

Колаборативните роботи - иновативно решение за внедряване в здравеопазването

Нина Вълчкова, Роман Захариев, Георги Ангелов, Ясен Паунски

Българска академия на науките, Институт по роботика, София, България

***Абстракт*—Статията представя същността на сервизните колаборативни роботи (коботи) техните предимства, които им позволяват да бъдат едно иновативно решение при внедряването им в здравеопазването. Дейността на сервизните коботи позволява да се облекчи труда на персонала в сферата на здравеопазването като се подпомагат грижите за пациентите, както на физическо, така и на социално ниво. Изследванията показват, че сервизните роботите могат да изпълняват дейности, с които да подпомагат и освобождават персонала не само от тежки и периодични задачи, но и да минимизират риска от заразяване в здравните заведения.**

***Ключови думи*—Сервизни роботи, колаборативни роботи, здравеопазване, социални грижи.**

I. Въведение

Първият робот е промишлен и е инсталиран в завод General Motors в Трентън, Ню Джърси, през 1959г., той е толкова успешен, че до 1961 г. около 450 роботизирани ръце Unimate са внедрени в индустрията. Едно нещо, което си струва да се отбележи е, че доскоро потенциалните опасности за сигурността на хората налагаше повечето промишлени роботи да бъдат изолирани със съоръжения, за да се защитят хората от роботите. Огромна промяна настъпва през 2004 г., когато KUKA Division Industries (kuka.com) пусна първия комерсиален „кобот". Това е „колаборативен робот", позволяващ съвместна работа на човек с робот (фиг.1) и премахващ огражденията около робота. Оттогава към KUKA се присъединяват редица други производители – включително Universal Robots (universal-robots.com), ABB (new.abb.com/products/ robotics), Kawasaki Heavy Industries (global. kawasaki.com), Yaskawa Motoman (motoman.com) и FANUC (fanucamerica.com) – в разработването и внедряването на тези роботи, които работят съвместно с хора. Това е така, защото, най-общо казано, коботът се отличава със сравнително лек дизайн и сензори, които му позволяват да открива и реагира на непланиран контакт, като спира почти моментално на място. Това освобождава пространство около робота, което иначе би било недостъпно за работници. Работникът може безопасно да изпълнява задачи заедно, а понякога и съвместно с робота. Просто казано, коботите са роботи, които са програмирани да изпълняват задачи заедно с работници, но е важно да се отговори на въпроси, които може да бъдат полезни, когато се взима решение относно избора на колаборативния робот в процеса на включването му в роботизирана помощ в дейността на специалиста, а именно дали са:

- Достатъчно сръчни, за да се справят с фини двигателни задачи?
- Достатъчно когнитивни, за да се справят с многоетапни процеси?
- Достатъчно безопасно ли е с оглед намаляване на колизиите на работното място?

Ако е така, как хармонично да се интегрира такава автоматизация в операции, където от десетилетия сме разчитали на хората? И каква възвръщаемост може да се очаква по отношение на производителност, скорост, възможности и цена?

Фиг.1 Схема на работа на колаборативен робот – човек.

С появата на нови технологии картината на това как ще изглежда автоматизацията става по-ясна. Започва да се формира консенсус около идеята, че роботите ще подпомагат и подобряват производствените задачи, като трансформират технологиите, при които как изглежда човешкият труд, вместо да го заменят напълно. Тези роботи, предназначени да си сътрудничат с производствени екипи, са наречени „коботи" и представляват следващата вълна на автоматизацията. Трябва ли ръководителите на операциите да преосмислят целия

си трудов план? Краткият отговор е не, защото има всичко общо по принцип като голяма стойност в ръководеното от човека, ръчно сглобяване, особено когато работата е променлива или изисква фина сръчност, контекстуална визия и познание.

В сравнение с техните роботизирани колеги, коботите обикновено са по-малки и по-бавни, но по-умни. Когато традиционните индустриални роботи могат да бъдат призовани да преместват товари или да оформят тежки метали, коботите могат да изпълняват задачи като инсталиране на амортисьори на автомобили и др. Те могат да бъдат включени в поточни линии и могат да улеснят определени задачи.

Според главния регионален директор на KUKA Джо Джема, „През 2015 г. бяха използвани 2000 колаборативни робота; до 2017 г. имаше 8000. И Международната федерация по роботика (ifr.org) отбеляза, че докато колаборативните роботи в момента съставляват само около 3% от всички продажби на роботи по света, очаква се тази цифра да скочи до 34% до 2025 г.

Развитието на сензорите и сензорно-информационните системи чрез създаването на по-прецизни сензори и повече изчислителна мощност в мрежовите връзки, позволяват коботите да намират все по-голямо приложение не само в стопанския сектор, но и в социалните и културни сектори.

Според Майкъл Чико, главен изпълнителен директор на FANUC America, чрез прилагането на стандарта за безопасност ISO/TS 15066, който беше въведен през 2016 г., „Успяхме да позволим на роботите да работят по-бързо, в зависимост от това какво е приложението. Когато работниците са наблизо, роботът се движи малко по-бавно; ако си тръгнат, може да стане по-бързо." Чико обяснява, че чрез сензори и софтуер има възможност да се извърши оценка на риска и съответно да се коригират параметрите на кобота.

Други подобрения са в лесната им употреба. HC10 от Yaskawa Motoman е само един пример за кобот, който може да бъде обучен чрез просто ръчно насочване през необходимия му път и по точки от пътя. Това елиминира сложността, обикновено свързана с програмирането на роботи, позволявайки на неспециалист по автоматизация въпреки това бързо да внедри устройството. Може да се програмира и по традиционния начин чрез използване на пулт за управление за обучение.

Освен това се справят с проблемите, свързани с лекотата на използване, сътрудничещите производители на роботи ABB и Kawasaki Heavy Industries сами си сътрудничат по общ интерфейс за своите коботи, включващ опростен интерфейс човек-робот с интуитивна, подобна на смартфон навигация и графични икони.

II. ПРЕДИМСТВА НА КОЛАБОРАТИВНИТЕ РОБОТИ

Обхватът на приложенията на колаборативния робот е ограничен от неговите проектирани физически възможности в силата и скоростта на изпълнение. Той е направен не само за да спре това, което прави преди да удари човек, но и за такъв удар да бъде с пренебрежимо малка сила в краен случай. Производителите ги намират за полезни в определени приложения, едно от които е сервизната роботика и използването им за социални и педагогически цели.

Сензорната технология напредна толкова бързо през последните няколко години, че дава възможност за използване в много различни производствени среди. Всъщност компании като VEO Robotics работят върху сензорна технология, която ще разпознава не само робота и всяко нарушаване на неговото пространство, но също и инструментите и всичко, което роботът носи. Това е следващият голям скок", казва Джема. Системата VEO Robotics (veobot.com) внедрява камери за отчитане на дълбочина и 3D сензори за наблюдение на цялата работна зона около робот, именно тези технологии позволяват внедряването на сервизните колаборативни роботи в здравеопазването.

Ето и някой от особеностите на коботите [12], позволяващи все по-голямото им приложение в социалните дейности.

- *Какво правят коботите добре?*

Коботите са много добри в работата в непосредствена близост до човек, което е основното предимство пред индустриалните роботи. Коботите съдържат вътрешни сензори, които откриват кога е направен контакт с работник и безопасно спират движението, докато не стане безопасно работникът да се движи отново. Сервизният колаборативен робот наблюдавана зоната за безопасност, определена от оценката на риска и спира, когато човек навлезе в нея. Сътрудничеството позволява на хората и роботите да работят безопасно заедно за максимална гъвкавост и ефективност, споделяйки едни и същи работни пространства и дори си сътрудничат за едни и същи задачи. Това помага да се балансира необходимостта от безопасност с необходимостта от продуктивност.

Колаборативните роботи са много подходящи за много от висококачествените и прецизни задачи, включени например в операционната дейност на лекарите хорурзи.

- *Какво не правят коботите толкова добре?*

Като всяко друго приложение, ориентирано към процеси, трябва да се обърне повече внимание на цялостната работа на сервизният робот, за да има висока степен на успех." Коботите изпълняват добре огромен брой приложения, но не са толкова бързи,

колкото традиционните роботи и са проектирани за по-малки полезни товари.

- *Кои са подходящите кинематични стуктури за колаборативните роботи?*

Повечето коботи са роботи с 6 или 7 задвижвани оси, което им дава възможност за движение, подобно на това на човешката ръка. SCARA и декартовите роботи са заключени в движение в посока X, Y и Z. Повечето роботи SCARA също имат способността да усукват T-ос (общо 4 оси на движение). Декартовите роботи обикновено са ограничени до 3 оси, но някои имат въртене на инструмента (4 оси). Освен това SCARA и декартовите роботи обикновено нямат вътрешни сензори за откриване на присъствието на хора така, че те трябва да работят с физически бариери или друго оборудване за безопасност, което ги прави неподходящи за съвместна работа. Колаборативните роботи осигуряват по-голяма гъвкавост, възможност за работа с по-широк набор от роботи без значителни промени на инструментите и възможност за тясна работа с хора. Тази гъвкавост е особено важна, тъй като тенденцията е за по-гъвкави решения в автоматизацията, за да се адаптират бързо и ефективно. Това също означава, че дейностите за използване на сервизни колаборативни роботи стават все по-спорадични и по-малко предвидими, което е по-трудно за автоматизиране.

- *Коботите дали са само устройства за обработка на материали?*

Не, те също могат да се справят със сложни и изискващи сръчност приложения и са способни в няколко области - метрология, монтаж, боядисване, лепене, отстраняване на материал и заваръчни задачи . Използването на колаборативните роботи в сервизната роботика позволява да се разширят възможностите им като намерят приложения в процеса на обучение, в сферата на културата и здравеопазването (фиг.3).

Фиг.3 Двурък хирургичен робот „da Vinci" [15].

Това им приложение дава перспектива не само за развитието и за усъвършенстването на коботите, но и за подобраване качеството на живот на хората и дейността на специалистите работещи в тези отрасли [10,12].

Фиг.2 Роботът YuMi внедрен от Техническия университет - Пловдив в клинична лаборатория [13].

Роботът YuMi внедрен от Техническия университет - Пловдив в клинична лаборатория не се страхува от зарази и няма да се разболее от коронавирус, затова може да работи в клинични лаборатории, заедно с хората, стига някой да го обучи. Сортирането на епруветките с проби от пациенти се извършва ръчно от клиничния лаборант, става дума за стотици, а в случай на епидемия – хиляди проби. Това е трудоемък процес, за който не трябват специални познания, а само сръчност. YuMi сортира епруветките по цветове и го прави по-бързо от човека. Той е стационарен (фиг.2), защото има две ръце, но няма крака, когато бъде монтиран на мобилна платформа той ще да се движи из цялата медицинска лаборатория, за да обслужва няколко работни места.

За да бъде ефективен YuMi в клиничните лаборатории е направена програма, с която той да разпознава не само цветовете, но скъщо така разпознава положението в пространството на всяка епруветка и да я поставя правилно на мястото й. И най-важното – не може да навреди на човека с действието или бездействието си.

YuMi е дирижирал оркестър в Модена, Италия на концерт на прочутия тенор Андреа Бочели. Тези приложения даказват переспективата за развитие на колаборативните роботи и внедряването им в различни области.

- *Какво предпазва кобота от падане?*

Коботи могат да бъдат монтирани по множество различни начини, за да осигурят безопасност при различни видове приложения. За фиксирани приложения не е необичайно коботи да са

стойка на пиедестал, която е закрепена към пода или монтирани директно на маса в работна клетка, като споделят пространството с или заместват човешки оператор. Коботите също могат да бъдат монтирани на стени и тавани или интегрирани с мобилна платформа за още по-голяма гъвкавост.

Коботът трябва да бъде здраво завинтен към подходяща основа, преди да може да се управлява. Някои са закрепени директно към бетонен под или метална плоча, въпреки че често се използват щрангове. Други коботи се монтират на платформи (автономни управлявани превозни средства) позволяващи глобалното им придвижване, но трябва да се внимава, за да се гарантира, че платформата може да се справи с реакционните сили, които роботът може да генерира, без да стане нестабилен.

Фиг.4 Колаборативен робот – домашен помощник [14].

- *Как се програмира кобот?*

Използва се предимно просто програмиране, базирано на графични икони. Въпреки това, за магазини с редица „стандартни" роботи, сътрудниците харесват възможността да превключват между просто програмиране на графични икони и типичния език за програмиране, използван за роботи през последните няколко години [1,2,7,8] . Има няколко начина за програмиране на коботите от кодиране чрез традиционен софтуер до интуитивни техники за ръчно насочване, при които потребителите ръчно преместват кобота до различни точки с определени координати, от които той се нуждае, за да изпълни задача.

- *Колко бързо се движат коботите?*

Колаборативните роботи имат скорости на движение, които зависят от предвиденото приложение. Ранното сътрудничество между кобот и човек имаше ограничения на скоростта. Въпреки това повечето настоящи предложения за кобот могат да се движат със скорости до 1000 mm/sec. Когато работят в среди, където може да възникне човешки контакт, скоростта на коботите е ограничена до максимум 250 mm/s. В зависимост от оценката на риска за приложението може да се наложи тази скорост да се намали.

- *Какво прави кобота безопасен?*

Вътрешните сензори позволяват режим PFL (ограничаване на мощността и силата) и ръчно насочване. Това са режими на работа, които повечето хора свързват с колаборативните роботи. Това, което прави един кобот безопасен, е оценката на риска за роботизираното приложение като цяло, за да се определи дали приложението е съвместно и дали наистина е безопасно за хората да бъдат близо до него, докато работи. Тази оценка на риска трябва да включва робота, захващащото устройство, частта, която се манипулира, работната среда и т.н. Само наличието на кобот не прави приложението безопасно, нито означава, че не е необходима допълнителна защита за работа. Първото нещо, което прави коботите безопасни, е ниският полезен товар, с който са проектирани да се справят и ниските скорости, с които работят в сравнение с традиционните, тежки промишлени роботи.

- *Какво се случва, ако ръката на кобот срещне човек?*

Коботите често са съчетани с пространствени сензори като подови скенери или светлинни завеси. Ако тези сензори открият присъствието на човек или обект в програмирана зона, роботът ще се забави въз основа на близостта на човека или обекта до робота. Ако силата бъде открита от робота, която е над прага, зададен в резултат на оценката на риска, роботът трябва да спре движението, докато човекът се освободи и не е опасно присъствието му. Спирането на работа и нулирането на робота може да бъде толкова просто, колкото натискането на бутон и той да възстанови работата си там, където е спрял, или заданието трябва да се рестартира от пулта за обучение на кобота.

- *Какъв вид инструментална екипировка на ръката има коботът?*

Колаборативният робот обикновено може да използва всеки краен инструмент, който традиционният робот може да използва. Предлагат се инструменти за съвместна работа - обикновено с ниска изходна мощност/сила на затягане, но потребителят все пак ще трябва да извърши оценка на риска за тяхното приложение, за да се увери, че не е опасно за хората.

Доставчиците на тази екипировка предлагат разнообразие от инструменти, специално създадени за коботите. Инструментите трябва да са съвместими с изискванията на стандарта ISO/TS15066, за да бъдат оценени при съвместна работа. Това включва отчитане

на сила, което може да се настрои според оценката на риска. Също така и не може да имат остри ръбове.

- *Каква е товароносимостта на коботите?*

Колаборативните роботи вече могат лесно да се справят с полезни товари до и включително в диапазона от 35 кг.

- *Как се постига възвръщаемостта на инвестициите с коботите?*

Опитът на компаниите показва, че обикновено има подобрение на качеството на продукцията, когато се въведе колаборативен робот. Спестяването на работна ръка обикновено не е основният двигател за използването на коботите. Коботите в много случаи позволяват на сътрудник да работи в две или три позиции на работните места, подобрявайки ефективността им, като същевременно карат кобота да изпълнява повтарящата се еднообразна работа в една позиция.

Коботите повишават производителността, подобряват безопасността на работниците и не изискват огромните първоначални разходи, свързани с традиционната автоматизация. Средно възвръщаемостта на инвестициите при покупка на кобот е около 12 месеца, но не е необичайно тя да бъде само за 3 месеца, в зависимост от приложението.

- *Какъв е ценовият диапазон на коботите?*

Въпреки че коботите може да са малко по-скъпи от традиционните индустриални роботи, тази премия за разходите често се смекчава от намаляването на необходимостта от известно оборудване за безопасност, в зависимост от оценката на риска. Това може да включва огради или други бариери, които заемат скъпо подово пространство.

При традиционните роботи капиталовите разходи за самите роботи възлизат само на 25 до 30 процента от общите системни разходи. Останалите разходи са свързани с програмиране на робота, настройка и специални, екранирани работни клетки. „Опитът извън кутията" с колаборативен робот обикновено е по-малко от час. Това е времето, необходимо за разопаковането на робота, монтирането му и програмирането на първата проста задача.

- *Кое е първото приложение, което някой трябва да изпробва с кобот?*

Опитът показва, че когато визуална камера или сензор, носен от колаборативния робот, инспектира частта и връща данни към централен източник е първото приложение, което някой трябва да изпробва с кобот. В зависимост дали кобота е със специфично приложение или не.

II. КОГНИТИВНИ РОБОТИ И КОЛАБОРАЦИЯТА ИМ СЪС СЕРВИЗНИТЕ РОБОТИ

Сервизната роботика и когнитивната роботика са две различни области на роботиката, които са свързани една с друга.

- Сервизната роботика (фиг.5) е подполе на роботиката, което се фокусира върху разработването на роботи, които могат да извършват услуги за хора в различни области като здравеопазване, образование, развлечения и други [3,4.9]

Фиг. 5 Сервизни когнетивни роботи UBTEH.

- Когнитивната роботика (фиг.6), от друга страна, е подполе на изкуствения интелект, което се фокусира върху разработването на роботи (фиг.7), които могат да възприемат, разсъждават, учат и действат автономно в неструктурирани среди.[5,6,11]

Фиг.6 Схема на ConCog.

Фиг.7 Схема на RoboMed

За да бъде ефективна дейността на колаборативния сервизен робот той трябва да е и когнитивен, което ще повиши не само функционалните му възможности, но и неговата надеждност. Понастоящем основните методи, ориентирани към услугите на роботите за домашно обслужване, са подходи, базирани на знания и на обучение и „генетично търсене". Въпреки че тези методи са постигнали забележителен успех в своите области, те имат много ограничения в познанието за обслужване на роботи. Развитието на познанието за обслужване на сервизните колаборативни роботите изисква разработване и усъвършенстване на базата от данни, която да допуска механизъм за самообучение.

Интегрирането на най-новите интелигентни технологии позволи предоставянето на мобилни коботи с нови функционалности, които могат да подобрят съвместната работа. Някои от тези случаи са управление с гласова връзка, проследяване на хора или автономно свързване с други машини чрез общи мрежи. Разработването на усъвършенстван потребителски интерфейс позволява генериране на карти и дефиниране на локализация (пътни точки) и маршрути по прост и интерактивен начин. Той позволява на клиента/потребителя да контролира операциите по картографиране, локализиране и навигация директно от всяко устройство, свързано към мрежата на робота.

Така се даде възможност за създаването на мобилни манипулатори, съвместими с различни автоматизирани компоненти, които разширяват своите индустриални приложения. Например иновативния мобилен робот RB-KAIROS+, представляващ роботизирана платформа с многопосочна кинематика, е оборудван за интегриране с рамото на Universal Robots e-Series. Това позволява неограничено разширяване на работното пространство на кобота, тъй като колаборативният мобилен манипулатор може да работи на различни места. В този смисъл той позволява широка гама от нови приложения и е чудесно допълнение за настоящите потребители на URE arm.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Статията е посветена на създаването на мобилен сервизен колаборативен робот, предназначен за помощ в здравеопазването и за обслужване на хора в неравностойно положение. Описана е засилващата се тенденция за създаване на роботизирани системи в помощ на здравеопазването особено в развитието на пандемията Covid 19 в последните години. Бързото развитие на колаборативните роботи, предназначени да работят безопасно съвместно с хората, открива широка перспектива за роботизиране на дейности, представляващи опасност за здравето и живота на хората. Описани са различните видове дейности в болнично заведение, които могат да се изпълняват от робот. Разбира се това основно помощни функции например на санитарите, сестрите и лекарите. Един такъв подход ще освободи много време на високо квалифицирания персонал, както и ще предпази живота и здравето им от опасностите на заразяването. Но създаването на такива високо интелигентни и „умни" роботи е нелека и изключително отговорна задача. Описан е подхода за изграждане на такъв робот на основата на натрупания опит при реализацията на сервизен колаборативен робот за обслужване на хора с увреждания. Освен използването на различни сензори за доставяне на информация от околната среда, на основата на които се генерира безопасна траектория на движение на самия робот и на манипулатора му, управлението в процеса на обслужване се осъществява чрез разпознаване на гласови команди, което е много важно от гледна точка на удобството на потребителя. Именно този непрекъснат процес на изследване и развитие позволи на роботиката да започне да поема нови задачи в различни области и сектори.

БЛАГОДАРНОСТ

Този доклад е изготвен в рамките на проект с Административен договор №КП-06-Н57/8-16.11.2021г. „Методика за определяне на функционалните параметри на мобилен колаборативен сервизен робот асистент в здравеопазването", финансиран от „Конкурс за Финансиране на фундаменталните изследвания - 2021 г." от фонд "Научни изследвания", България.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Angelov, et al. „Remote interface communication to ROS Based Robotic System"; Pr. Twenty First Int. Conf. "Robotics and Mechatronics"; "Invited Session - Austrian-Bulgarian Automation Day"; 19-21 September 2011; Varna, Bulgaria; ISSN 1310-3946; pp. 22 – 27. https://www.acin.tuwien.ac.at/fileadmin/acin/ijaa/ijaajg20h2.pdf#page=22

2. G. Anis., "Robot Operating System (ROS)". The Complete Reference (Volume 1) © 2016.
3. D. Serpanos, "The Cyber-Physical Systems revolution". J. Computer, V.51(3), (2018), pp.70-73. DOI: https://doi.org/10.1109/MC2018.1731058
4. N. Valchkova, R. Zahariev "Optimization of model operator for service robot, intended to service persons with disability.", Pr."TECIS-19" IFAC Conf.26-28 September, (2019) Sozopol, Bulgaria. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.468
5. O.Khatib, P.Moore, "Sensor Based Control of Robots". Stanford University Publ, USA, 1997.
6. R. Probst, P. Kopacek "Service Robots: Present situation and future trends", The Second ECPD International Conference on Advanced Robotics, Intelligent Automation and Active Systems, Vienna, Austria,1996, pp.45-52. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667017427376
7. W. Yoshizaki, Y. Sugiura , A.C. Chiou, S. Hashimoto. "An actuated physical puppet as an input device for controlling a digital manikin". Pr., Int. Conf. on Human Factors in Computing Systems, CHI 2011, Vancouver, BC, Canada. DOI: https://doi.org/10.1145/1978942.1979034
8. Y. Paunski., R.Zahariev, "Service robots control system, based on Arm cortex M architecture microprocessor system", Pr. TU Sofia, XXVI International Conference „ADP-2017", June, 2017, Sozopol, Bulgaria, 2017, pp. 300-304.
9. R. Zahariev, N. Valchkova, G. Angelov, Y. Paunski at al. "Robots for Help in Pedagogy and Rehabilitation." In Pr. 20-th Int. Conf. on Computer Systems and Technologies, ACM, New York, NY, (2019) USA, 1-7. DOI: https://doi.org/10.1145/3345252.3345253
10. https://mf.tu-sofia.bg/MNTK%20ADP%20site/4%20Proceeding/2017/Materials/Napravlenie-7/4-7-R.Zahariev-2.pdf
11. V. Hotar. "Prehled a characteristika mobilnih a servisnich robotu (in Czech) ZS 2019. https://elearning.tul.cz/pluginfile.php/339197/mod_resource/content/1/ARS-10.Servisni-roboty-2.pdf?forcedownload=1
12. Cobots: 14 Things You Need to Know | Gardner Web
13. http://u4avplovdiv.com/wp-content
14. https://www.mdpi.com/2076-3417/10/2/464
15. https://en.wikipedia.org/wiki/Da_Vinci_Surgical_System