

Българска Академия на Науките

Институт по Роботика

Маг.инж.Вероника Иванова Атанасова-Георгиева

**ЛАПАРОСКОПСКИ ИЗПЪЛНИТЕЛНИ ИНСТРУМЕНТИ КЪМ
РОБОТИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на

ДИСЕРТАЦИЯ

За получаване на образователна и научна степен „Доктор,,
В област 5. „ Технически науки,, , професионално направление 5.1 Машинно
инженерство,
Научна специалност Роботи и Манипулатори

Научни консултанти: Професор д-р Веселин Павлов
Доцент д-р Иван Чавдаров

2020 г. София

Вероника Иванова-Лапароскопски изпълнителни инструменти към робот

Дисертацията е с обем 135 страници и е структурирана в 5 глави. Съдържа 84 фигури, 10 таблици и 19 формули. Приложената библиографска справка включва 104 заглавия.

Дисертационния труд е обсъден и насрочен за защита съгласно изискванията на ЗРАС в България и Заповед No44/28.05.2020г. на Директора на ИР –БАН.

Защита на дисертационния труд ще се състои
На 16.06.2020 г. от 14:00 часа в зала 427, бл.2. ИР-БАН.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на ИР-БАН на адрес гр. София ул. Акад. Г. Бончев, бл.2, ет. 4.
Номерата на фигурите, таблиците и формулите съответстват на тези в Дисертационната работа.

Автор : Вероника Иванова Атанасова-Георгиева

Заглавие : Лапароскопски изпълнителни инструменти към роботи.

Тираж: 15

Излиза от печат2020 г.

АПРОБАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационния труд е апробиран на следните научни форуми:

1. 20-та Международна Конференция “Автоматизация на Дискретното производство 2012”, Созопол, 20-24 юни 2012 г.
2. XXII Международен Конгрес по Медицински науки–9-12 Май 2013 г, София . 22- ра Международна Конференция по Производствени системи, Букурещ, Румъния, Ноември, 2013.
3. 26-та Международна Конференция по Производствени системи, Букурещ, Румъния, Ноември 2017 година.
4. 27-ма Международна Конференция по Производствени системи, Букурещ, Румъния, Ноември 2018 година.
5. Международна Конференция Автоматика и Информатика, София, България, 4-6 Октомври 2017 г.

Публикуване.

Резултати от дисертацията са представени в 7 публикации, списък, на които е приложен в края на автореферата.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА.

Актуалност на темата:

Една от тенденциите в медицинските технологии са разработването на роботи, инструменти и аксесоари към тях. С въвеждане на роботи в хирургическите зали се решават редица проблеми в областта на мини инвазивната хирургия. Движенията се мащабират, премахва се треморът в ръката на хирурга, прецизно се проследява зададена траектория, намалява се грешките и умората в хирургическата ръка и всичко това е от полза, както за пациентите, така и за лекарите. Последните десетилетия над милион и половина операции са изпълнени с помощта на роботизирани системи. Учените работят, както върху премахване на недостатъците в съществуващите роботи, така и върху разработване на нови такива. Социалния и икономическия ефект са свързани по между си. От изброеното по-горе произтича актуалността на темата.

Научна новост.

1. Направено е системно изследване на кинематични схеми на съществуващи лапароскопски изпълнителни инструменти и са направени оценки по инженерни критерии.

2. Предложен е функционално действащ модел на инструмент с $R \perp R \parallel R$ структура, при която се избягват допълнителни ролки за задвижване на изпълнителните звена и осигурява по-висока надеждност, по-лесно управление, а така също облекчава и поддържане на стерилност на инструмента.

3. Предложен е функционално действащ модел на инструмент с гъвкави изпълнителни звена за хващане и манипулиране на обекти с неправилна геометрична форма в лапароскопската хирургия, с което се постига по-висока адаптивност към формата на манипулирания обект.

4. Проектиран и изработен е лабораторен модел на устройство за провеждане на експериментални изследвания с вградени сензори за определяне на начален контакт „инструмент – обект“ при манипулация и измерване на силите на взаимодействие при изпълнение на операцията.

Цел и задачи на дисертацията:

ЦЕЛ:

Разработване на функционално действащи модели на лапароскопски изпълнителни инструменти към работи с подобрени инженерни характеристики и на лабораторен модел за експериментални изследвания на силите на взаимодействие „инструмент – обект“, като получената информация от сензорите се предава на оператора.

За постигане на основната цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Да се направи системен анализ на съществуващи изпълнителни инструменти по структурни и кинематични критерии, оценка на инженерните им характеристики, като се мотивира потребността от разработване на нови.
2. Да се разработят функционално действащи модели на изпълнителни инструменти, с опростена кинематика на задвижване на изпълнителните звена, с по-висока надеждност и облекчена поддръжка на стерилност на инструмента.
3. Да се разработи и изследва хващащо устройство с гъвкави елементи, което подобрява адаптивността към неправилната геометрична форма и податливост на манипулираните обекти.
4. Да се разработи лабораторен модел на устройство за провеждане на експериментални изследвания за определяне на начален контакт „инструмент – обект“ при манипулация и измерване на силите на взаимодействие при различна плътност и еластичност.
5. Да се разработи хардуер и софтуер на лабораторния модел за обработка на информацията от сензорите, получените данни да се представят графично, съхраняват и да се осигури достъп за анализа им с други програмни продукти.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.

ГЛАВА 1. ОБЗОРЕН АНАЛИЗ. ТЕХНОЛОГИЯ И ИНСТРУМЕНТИ В РОБОТИЗИРАНА ЛАПАРОСКОПСКА ХИРУРГИЯ.

От направения анализ на 104 литературни източници може да се направят следния заключения:

Изпълнението на роботизирана лапароскопска хирургия се съпътства от изпълнителни и спомагателни инструменти. Към втората група се отнасят устройства за осветеност на обекта, за манипулация и визуално наблюдение (видео камера) и за осъществяване на свободен достъп-отдалечаване на органите неподлежащи на манипулация до обекта. Те имат свои специфични особености и изисквания, но не са обект на настоящето изследване. Не са обект и ръчните изпълнителни инструменти.

В резюме анализът се представя:

1. В настоящия етап съществува голямо многообразие от инструменти за лапароскопска хирургия, изпълнявана чрез роботи. Те са проектирани за изпълнение на целева функционална задача, като наред с основното действие (хващане, рязане и други) се предвиждат и три локални ориентиращи движения. Така най-често общия брой управляеми движения е четири (съществуват и повече).
2. На лице са инструменти, при които има зависимост между движенията, което трябва да се вземе предвид при програмиране.
3. Крайните изпълнителни звена имат различни размери, определени от размерите на манипулираните обекти.
4. Използват се твърди (неподатливи), звена, което в общия случай е обосновано, но съществуват случаи, в които гъвкавостта може да се използва като удобство.
5. Действието с инструментите се осъществява чрез визуално наблюдение за начален контакт и изпълнение на действието. Логично е от гледна точка на цялата човешка дейност, но от инженерна гледна точка процесите могат да се оптимизират при наличие на измерване.
6. Лапароскопската хирургия се развива в много направления и естествено изпълнителните инструменти също да следват тези тенденции. Трудно могат да се прогнозират тези направления, но безспорно едно от тях е подобряване на характеристиките на инструментите, което ще съдейства на лекарския екип за постигане на по-високо качество.

Въз основа на направения заключителен анализ в настоящето изследване е формулирана целта.

ГЛАВА 2. СИСТЕМНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТРУКТУРИ НА МЕХАНИЗМИ ПОДХОДЯЩИ ЗА МАНИПУЛИРАЩИ ИНСТРУМЕНТИ В ЛАПАРОСКОПСКАТА ХИРУРГИЯ.

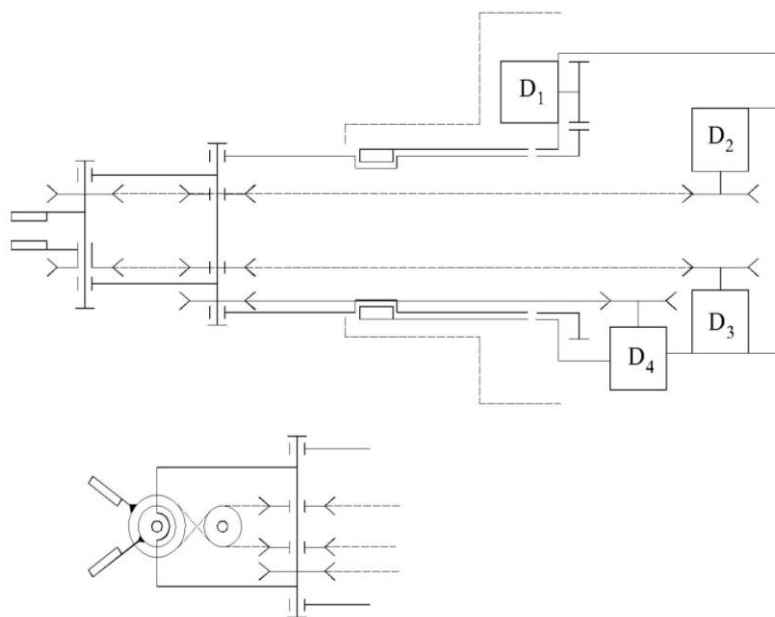
Системното изследване е предпоставка за информиран избор при конструиране и постигане на най-добри технически показатели. В Таблица са

показани възможните комбинации при две ортогонално разположени ротации и илюстриращи схеми при пресичане и кръстосване на осите.

Показани са възможни варианти на неортогонално разположение на осите при две ориентиращи движения. Разгледани са изпълнителните звена за хващане (рязане) с автономно движение.

Структури за хващане чрез ротация на изпълнителните звена и три ротационни ориентиращи движения са показани в Таблица. Показани са схеми на неортогонално разположение на осите при три ориентиращи движения и автономно задвижване на изпълнителните звена при хващане (рязане). Представена конструктивна схема на инструмент за симетрично хващане и перпендикулярно завъртане с пресичане на осите. Силата на хващане (рязане) се осъществява от пружината.

Конструктивна схема на инструмент с автономно задвижване на изпълнителните звена за хващане (рязане) и две взаимно перпендикулярни ориентиращи движения с пресичане на осите е показана на Фиг.2.7. Задвижването се предвижда да се изпълни от управляеми ротационни двигатели.



Фиг. 2.7. Конструктивна схема на инструмент с автономно задвижване на изпълнителните звена.

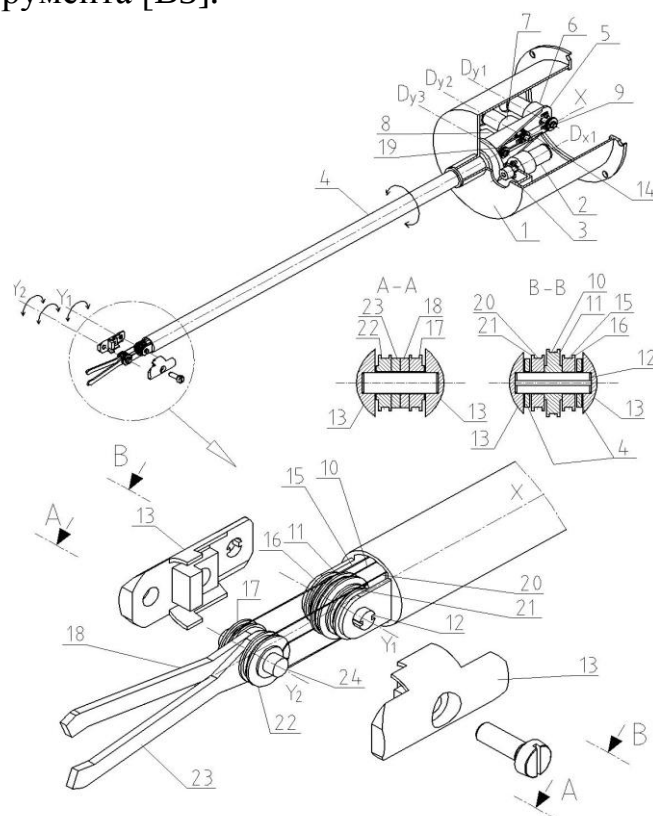
ГЛАВА 3. ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛАПАРОСКОПСКИ ИНСТРУМЕНТИ.

За целите на роботизираната лапароскопска холецистектомия широко се използва технологията Endo Wrist на Intuitive Surgical USA вградени в робота *daVinci*. Пълната гама на каталога съдържа структури с 4 и 7 степени на свобода. Китката с 4 степени на свобода осигурява автономно движение на изпълните звена. Недостатък на тази структура е трите взаимно перпендикулярни ротации ($R^{\perp}R^{\perp}R$), което налага използването на допълнителни ролки за задвижване на изпълнителните звена.

В настоящата работа се предлага структура $R^{\perp}R \parallel R$, която избягва допълнителните ролки. При Endo Wrist двигателите са разположени в основата, което прави движенията след първата степен на свобода зависими. Разглежданата схема зависими движения получават третата и четвъртата степени на свобода, само при сгъване на китката.

3.1. Конструктивна схема на проектиран лапароскопски изпълнителен инструмент $R^{\perp}R \parallel R$

Предложената структурна схема на лапароскопски инструмент е с опростена конструкция, като не се налага използването на допълнителни ролки за задвижване на изпълнителните звена. Това е благоприятно за осигуряване на по-висока надеждност и почистване и поддържане на стерилност на инструмента [В3].

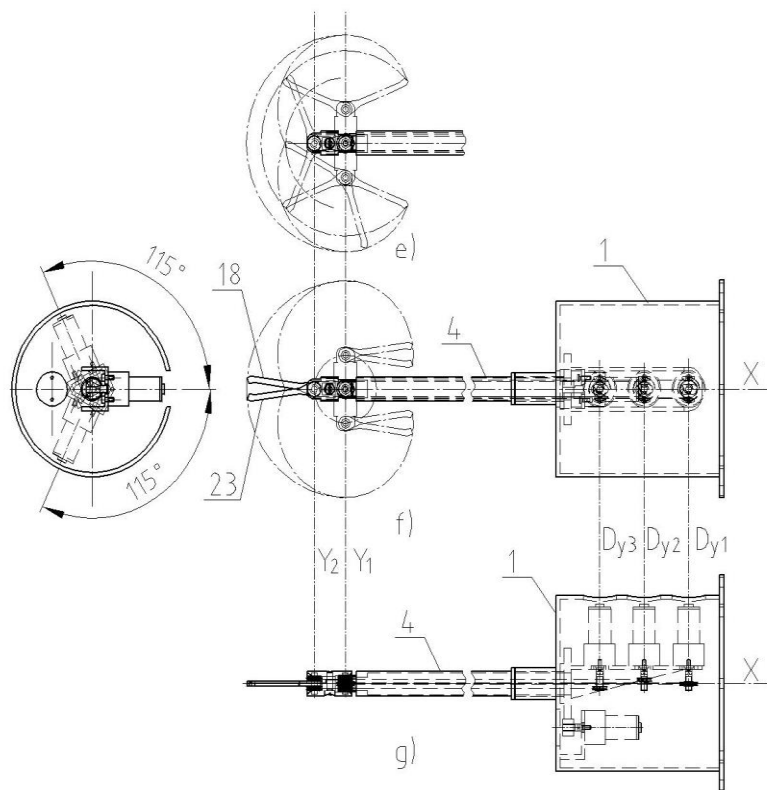


Фиг. 3.2. Конструктивна схема на лапароскопски инструмент $R^{\perp}R \parallel R$.

Конструктивна схема на лапароскопски инструмент $R^{\perp}R \parallel R$ е показана на Фиг. 3.2 .

3. 3. Работна зона на проектирания роботизиран инструмент в начална, отворена и затворена позиция.

На Фиг. 3.6 е показана работна зона на проектирания инструмент в начална, отворена и затворена позиция.



Фиг. 3.6. Работна зона на проектирания роботизиран инструмент в начална, отворена и затворена позиция.

Възможните движения на лапароскопска роботизирана инструмент в работната зона са две. Ъгълът на завъртене около оста на инструмента е 360 градуса. Това движение се осъществява от един от двигателите и предавателен механизъм. Дължината на кухото цилиндрично тяло (4) е 68 мм.

Челюстите на инструмента са напълно отворени при ъгъла на завъртане на 120[°] в зависимост от позицията. Това позволява задвижване само едно от звената. Движението на челюстите (18) и (23) се изпълнява от двигателите и механизмите за предаване на движението.

3.3. Определяне на предавателните функции между двигатели и изпълнителни звена на инструмента.

Работното пространство и зоната на достижимост зависят от линейните размери (l_2, l_3, l_4) и ставните ограничения (допустимите ъгли на завъртане на изпълнителните звена $q_1 \min \leq q_1 \leq q_1 \max, q_2 \min \leq q_2 \leq q_2 \max, q_3 \min \leq q_3 \leq q_3 \max, q_4 \min \leq q_4 \leq q_4 \max$).

За управление на действието при телеуправление се използва правата кинематична задача. В най-общият вид може да се запише:

$$\dot{\phi} = J\dot{q}, \quad (3.1)$$

където: $\dot{\phi} = [\dot{\phi}_1, \dot{\phi}_2, \dot{\phi}_3]^T$ е вектор на ъгловите скорости на изпълнителното звено; J - матрицата на Якоби, която отразява стойността на предавателните

функции, в това число и при зависими движения; $\dot{q} = [\dot{q}_1, \dot{q}_2, \dot{q}_3]^T$ е векторът на ъгловите скорости в ставите на робота.

Изразът (3.1) може да се разпише по-подробно във вида:

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 \\ \dot{\varphi}_2 \\ \dot{\varphi}_3 \\ \dot{\varphi}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \varphi_1}{\partial q_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial \varphi_2}{\partial q_2} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial q_3} & \frac{\partial \varphi_2}{\partial q_4} \\ 0 & 0 & \frac{\partial \varphi_3}{\partial q_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{\partial \varphi_4}{\partial q_4} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Явява се необходимост от определяне на оптимална област за движение на инструмента, като се използват качествени показатели. Тези показатели са базирани именно на матрицата на Якоби. В резултат на това се оптимизира геометрията на инструмента, така че в определена област конфигурациите ще осигуряват оптимално движение от гледна точка на кинематиката. Това е важно при мащабиране на движенията, т.е. при по-голям “размер” на придвижване от оператора (мастер) се осигурява минимални движения на роботизирания инструмент. При оптимална конфигурация (добър качествен показател) тези оптимални конфигурации улесняват управляващата система

Следват изчисления на предавателните функции.

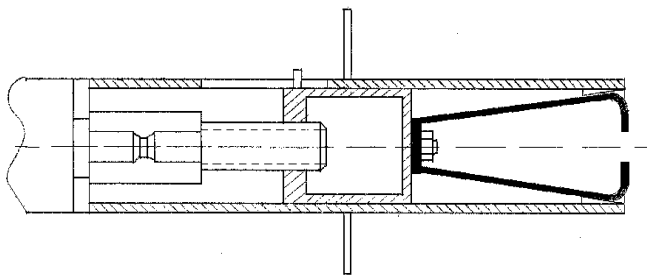
Конструктивната схема и израза (3.2) показват, че управляемото движение на звено 2 предизвиква зависимо движение на звена 3 и 4. За да се контролира това движение е необходимо да се определят функциите $\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_3}$, респективно $\frac{\partial \varphi_2}{\partial q_4}$.

Показани са формули за намиране на ъглите q_i ($i=1,2,3,4$) на завъртане на изпълнителните звена при зададени ъглите на завъртане на двигателите. Изведените аналитични зависимости на предавателните функции дават възможност за провеждане на изчислителни процедури за оптимизиране на размери при съществуващите ограничителни условия и за залагане в софтуер за управление движението на инструмента.

3.4 Конструкция на инструмент с еластични изпълнителни звена за манипулиране на обекти с неправилна геометрична форма.

Използването на еластични деформации за хващане на твърди тела с правилна форма и малки размери е широко разпространено. В настоящата работа е предложен вариант за използването на еластични (гъвкави) изпълнителни звена за хващане на твърди тела с неправилна геометрична форма при които силата на хващане и адаптирането към формата се получава

за сметка на предизвикана по механичен път нормирана еластична деформация [B4].



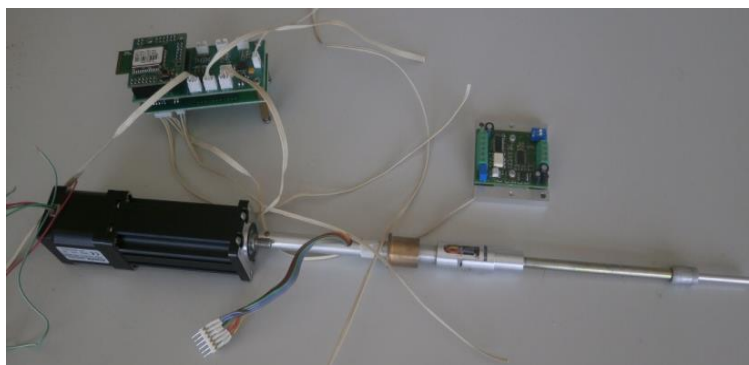
Фиг. 3.12. Хващач с 3 изпълнителни еластични звена.

По-нататък работата е свързана с определяне на двигателна сила F_d преди реализиране на контакт с обекта и при условие, че хващача има три изпълнителни звена се определя: Текущият ъгъл на наклон на изпълнителното звено; двигателната сила получена чрез винтов механизъм, преобразуващ въртливо движение в праволинейно

ГЛАВА 4. УСТРОЙСТВО ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ ЗА НАЧАЛЕН КОНТАКТ И СИЛИ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ, ИНСТРУМЕНТ-ОБЕКТ”.

Разработено и изработено е устройство за провеждане на експериментални изследвания за начален контакт и сили на взаимодействие инструмент-обект [B4], [B5]. Изработен е и управляващ блок и електроника за сензорите [B6], [B7].

4.1 Техническо описание.



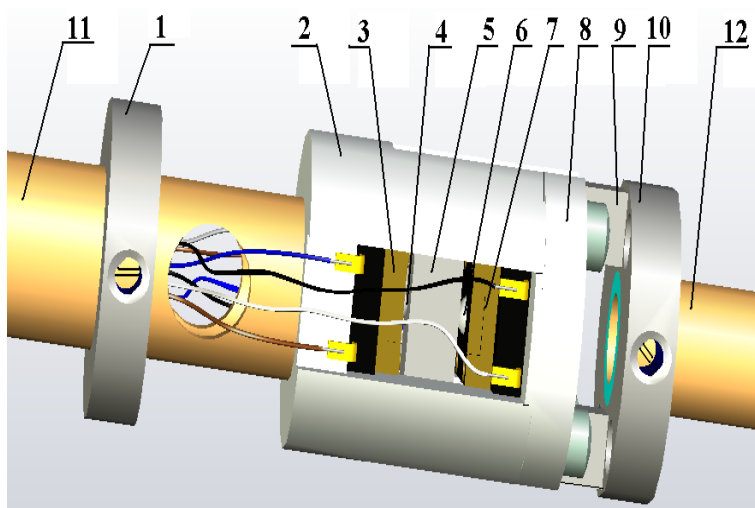
Фиг. 4.1. Експериментален модел с отделни компоненти

Експерименталното устройство включва: (1) Ръкохватка с вградена мехатронна конструкция, където са монтирани два силови сензора за отчитане на взаимодействието на върха на инструмента с дадена повърхност при трансляция в двете възможни посоки на преместване (напред и назад); (2) – предусилвателен блок, осигуряващ формиране на аналогови сигнали за входните канали на аналогово-цифров преобразувател - ADC на микроконтролера на управляващия блок; (3) линеен актуатор, реализиран на

базата на стъпков двигател, куплиран към тялото и осигуряващ прецизно линейно движение на последното; (4) - драйверен блок, формиращ управляващия ток във фазите на стъпковия двигател за реализация на стъпка на преместване в съответствие със заданията определени от управляващ блок; (5) – управляващ блок, реализиран чрез използване на безжичен микроконтролер, включен в локална безжична мрежа и осигуряващ изпълнението на специализирана управляваща движенията на стъпковия двигател програма; (6) – захранващ блок, осигуряващ работно напрежение за работа на управляващия и драйверния блокове.

5.2 Конструкция на ръкохватката към експериментално устройство.

Ръкохватката на изградения модел включва механична конструкция - измервателна глава, с вградени два силови сензора на фирмата Honeywell [90] разположени един срещу друг за отчитане на моментното силово взаимодействие между върха на инструмента и дадената повърхност и куплиран към главата стъпков двигател [91].



Фиг. 4.3. Измервателна глава на тактилен сензор.

Където: 1 – ограничител, 2 – тяло, 3 – Ниско профилен силов сензор 1, 4 – контактна зона на FSS сензор 1, 5 – хоризонтално рамо на П-образния плъзгач, 6 - контактна зона на ниско профилен силов сензор 1, 7 ниско профилен силов сензор 2, 8 – фиксираща капачка, 9 – вертикално рамо на П-образния плъзгач, 10 присъединителна конзола, 11 - входяща ос, 12-изходяща ос.

Принципът на действие на създадената мехатронна конструкция с вградени силови сензори на фирмата Honeywell е следният: Между двете контактни пъпки 4 и 6 на сензорите 3 и 7 е разположено хоризонталното рамо 5 на П-образния плъзгач, който се плъзга свободно в аксиалния канал на тялото 2. В зависимост от посоката на задвижване на входящата ос 11,

респективно на тялото 2 с фиксираните към него сензори 3 и 7, хоризонталното рамо 5 на П-образния плъзгач притиска съответната контактна пъпка 4 или 6 на сензорите в резултат на противодействието, оказвано върху челюстите на накрайника и предавано към П-образния плъзгач от изходящата ос 12 и присъединителната конзола 10. В резултат на това е възможно точното измерване на моментните силови взаимодействия инструмент – тъкъв. Разработеният силов сензор е с външен диаметър 16 мм., дължина 100мм. и работен обхват и в двете посоки от 0 до 15 N. За проектирания лапароскопски инструмент е изработена специално безжична система за управление и контрол и програма, която да съхранява и обработва информацията свързана с биомеханичните свойства на тъканите. Информацията, получена от проектираната и изработена сензорна конструкция, служи за намиране на съответния тъканен модел и подаване на необходимите команди за силово взаимодействие между върха на инструмента и тъканта.

ГЛАВА 5. ПРОГРАМНИ СИСТЕМНИ СРЕДСТВА ЗА КОМУНИКАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО УСТРОЙСТВО. ЕКСПЕРИМЕНТИ И РЕЗУЛТАТИ.

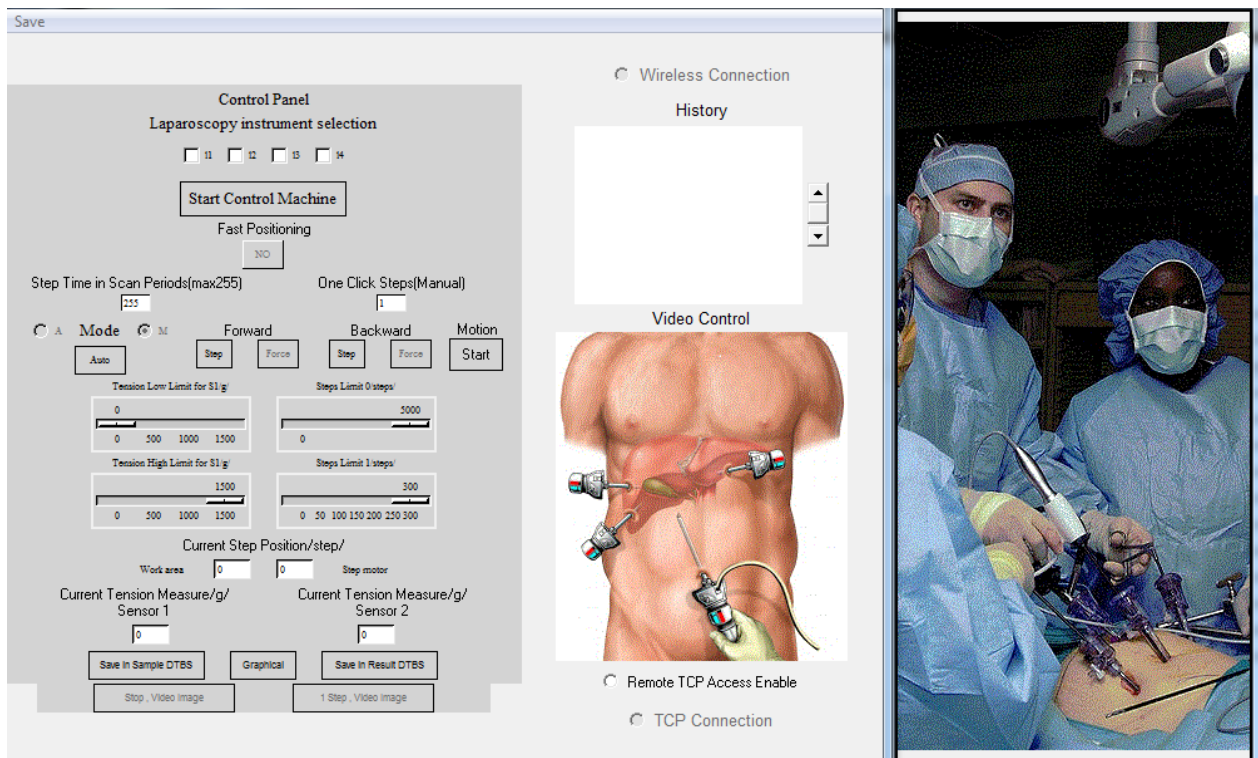
Целта на тази глава е да се разработи удобен и лесен за приложение софтуер, който да осигури на потребителя управление и комуникация с устройството, за да бъдат проведени и някои експерименти, доказващи валидността на методологията. Разгледана е програма, специално разработена за изследване функционалните възможности на експерименталното устройство, която дава възможност за провеждане на необходимите измервания, визуализация на получените резултати, възможност за тяхното ясно и недвусмислено интерпретиране, съхранение, сравнение и анализ.

5. 1. Локална Операторска Станция.

Локалната Операторска Станция (ЛОС) е предназначена за настройка, управление и наблюдение на работата на Лапароскопските инструменти. Тя е реализирана като специализирано приложение в Windows 7. Използвани са програмни средства, базирани на Tcl/Tk [97].

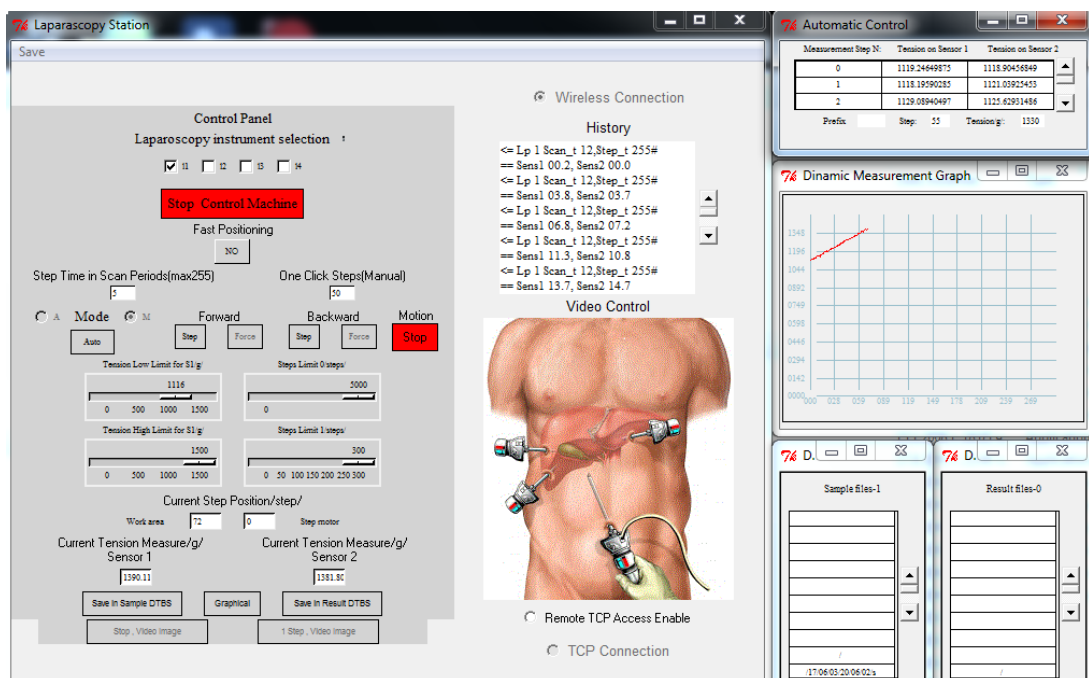
Начален диалогов прозорец на Локална Операторска Станция Фиг. 5.1. В лявата част е оформен Control Panel, включващ четири радио-бутона.

Програмен бутон Start Control Machine е с две възможни състояния - Start Control Machine и Stop Control Machine.



Фиг. 5.1. Диалогов прозорец

Вторичен диалогов прозорец се активира след кликване върху бутона Start Control Machine. Дясната половина включва нови полета, предназначени за визуализация и настройка на работата на устройството в процеса на измерване и анализ на данните.



Фиг. 5. 2. Вторичен диалогов прозорец.

5.2 Програмни системни средства, използвани при построяването на Локална Операторска Станция и интерфейса ѝ с външни устройства.

Локална Операторска Станция е програмен пакет, осигуряващ графичен потребителски интерфейс на оператора на Лапароскопския инструмент [B6]. Той е проектиран като Windows приложение, използващо програмна среда Tcl/Tk.

5.9. Експерименти и Резултати.

С оглед реализация на експерименти е разработен и изработен опитен модел на инструмент с вградена сензорна конструкция за измерване на силите и получаване на тактилна обратна връзка, която беше описана в 4-та глава. На Фиг.5.7 е показан експерименталният модел на устройство.

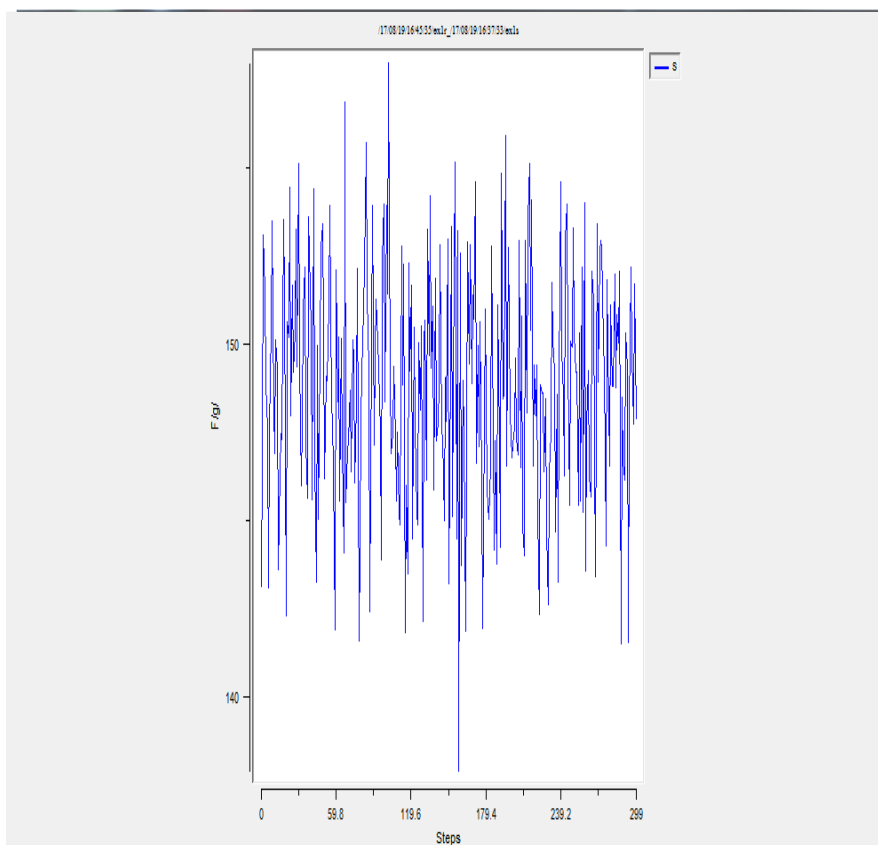


Фиг5.7. Опитен модел на инструмент с вградени силови сензори, който се управлява от компютър.

Проведени са няколко експеримента с изработения експериментален модел. Целта на проведените експерименти е: Да се докаже функционалността и работния капацитет на експерименталния модел на лапароскопски изпълнителен инструмент; Да направи практическа оценка дали грешката, направена от експерименталния модел по време на неговата нормална работа, е в рамките на изискваната цел за точност; Да гарантира, че грешката получена по време на извършените експерименти с уреда е пренебрежимо малка; Да демонстрира работата на инструмента чрез търсене на контакт, откриване на присъствието или липсата на взаимодействие на повърхността на инструмента.

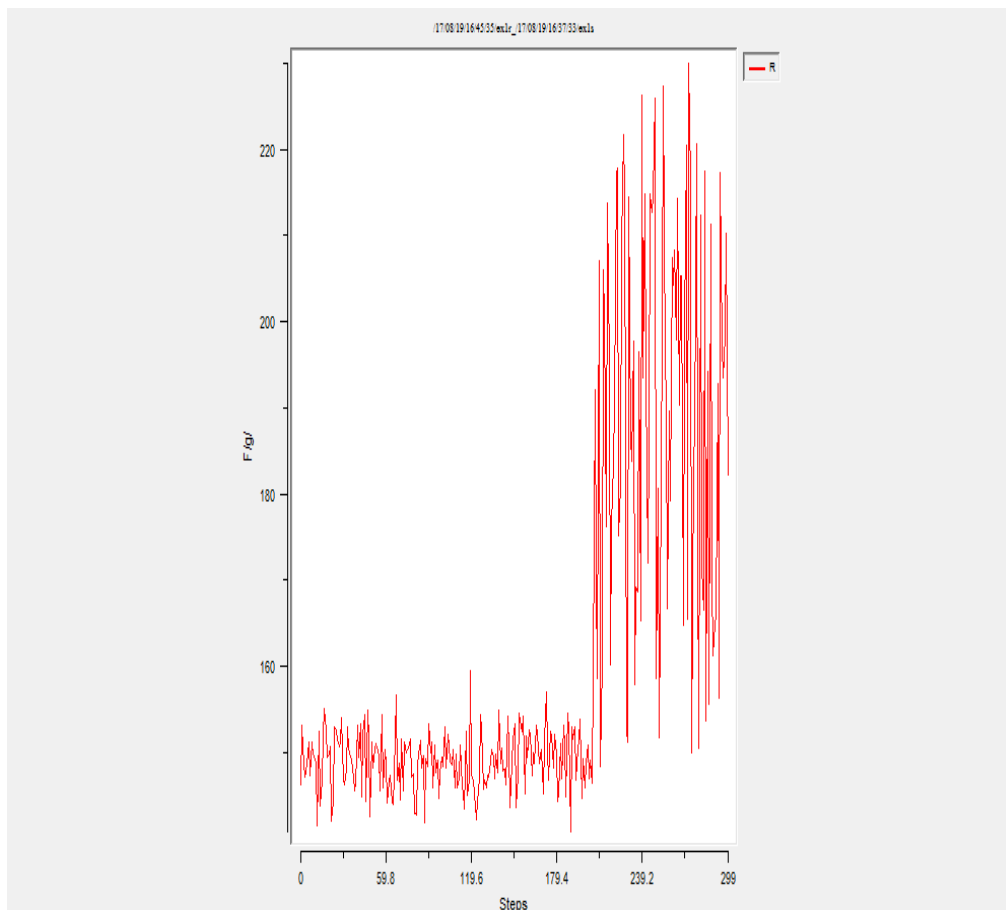
В образец от пластинка стиропор са извършени измервания полученият резултат е показан графично на Фиг. 5.9. По оста X е отразена стъпката на

двигателя, по оста У е показана силата. Най-висока стойност на силата – 1.670 N е регистрирана при 119.8 [стъпки], (което съответства на максимано съпротивление), най-ниската стойност регистрирана от уреда 0.10 N при 168.4 [стъпки] в този материал. Амплитудата е 1.57 N.



Фиг. 5.9. Измерване в образец от пластина стиропор.

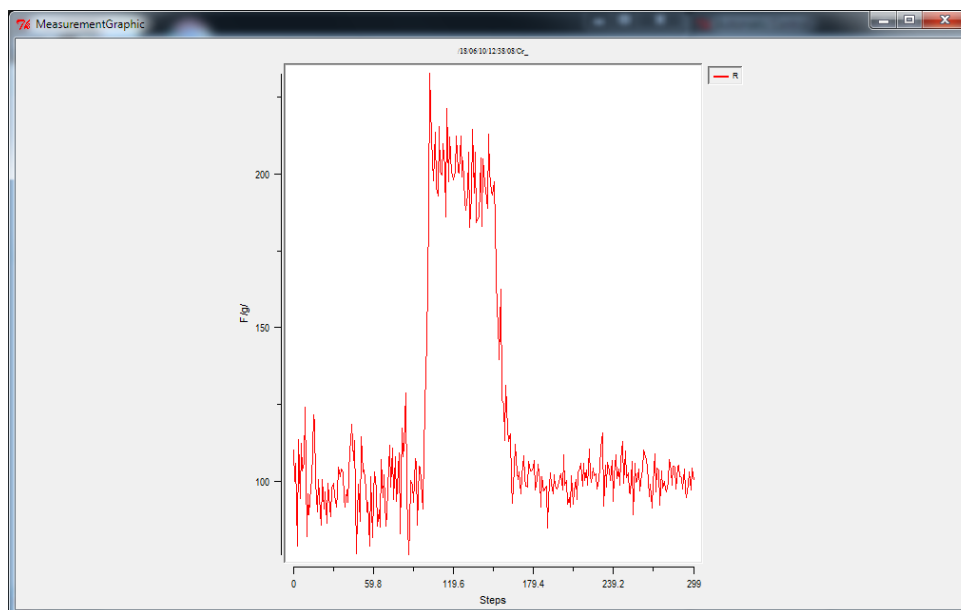
На разстояние около 2 мм. от стената навътре, е направен разрез в образца от стиропор и е пхната гума. При същите условия са извършени измервания и е получен резултат, който е показан на Фиг.5.10. По оста Х са нанесени стъпките на двигателя, а по оста У - отчетена силата. При този проведен експеримент, първоначално инструмента навлиза в образца, като усилието се колебае между 0.780 и 1.57 N при 200 направени стъпки. След от 200 стъпки, усилието рязко скача и максималното регистрирано усилие е 2.26 N. при ход от 200 до 300 стъпки. Амплитудата е 1.47 N. Средна стойност на приложената сила е 1.32 N.



Фиг. 5.10. Измерване в образец от смесен материал гума-стиропор.

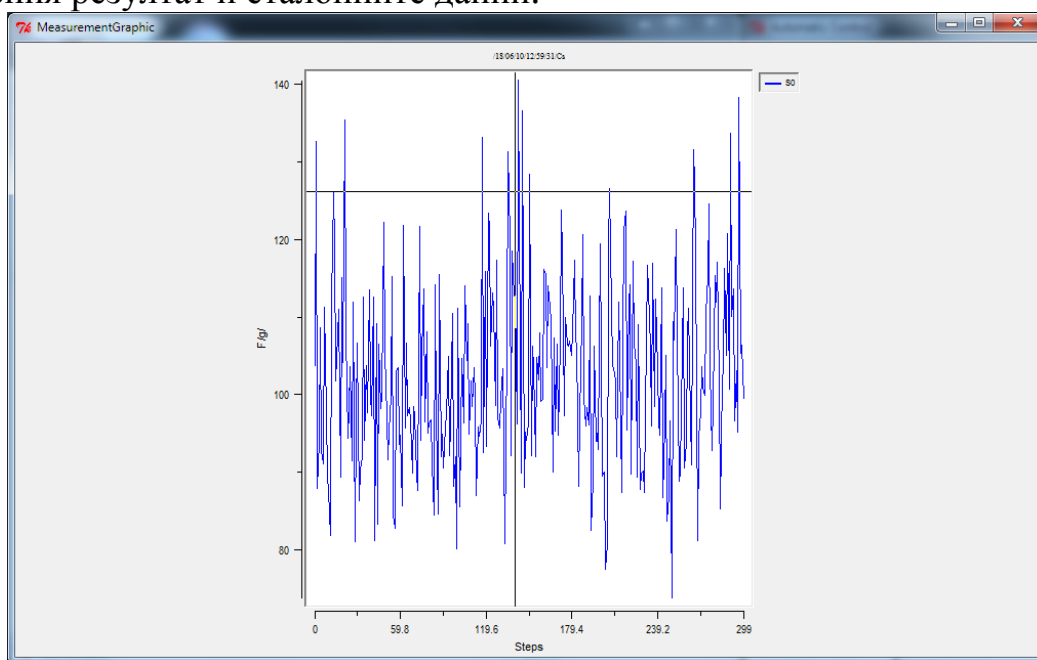
Резултатите показват работата на устройството са: търсене на контакт, регистриране на контакт на върха на инструмента с дадена повърхност, отчитане на силата на взаимодействие, построяване на графика с получените резултати, сравнение на резултатите с други такива, които се съхраняват в програмата.

Направени са и други изследвания. Измервания с образец от мускулна тъкан са показани на Фиг5.11. Уредът е настроен: 0.98 N. Брой микростъпки: 300. Дължина на микростъпката: 1/ 2, което съответства на 24 микрометра. По оста X е отразена стъпката на двигателя, по оста Y е показана силата. Минимално усилие 0.45 N. е отчетено от 0 до 100 стъпки и от 170 до 300 стъпки, а максимално усилие 1.94 N. при 100 стъпки. При този експеримент амплитуда 2.35 N. Средна стойност 1.21 N.

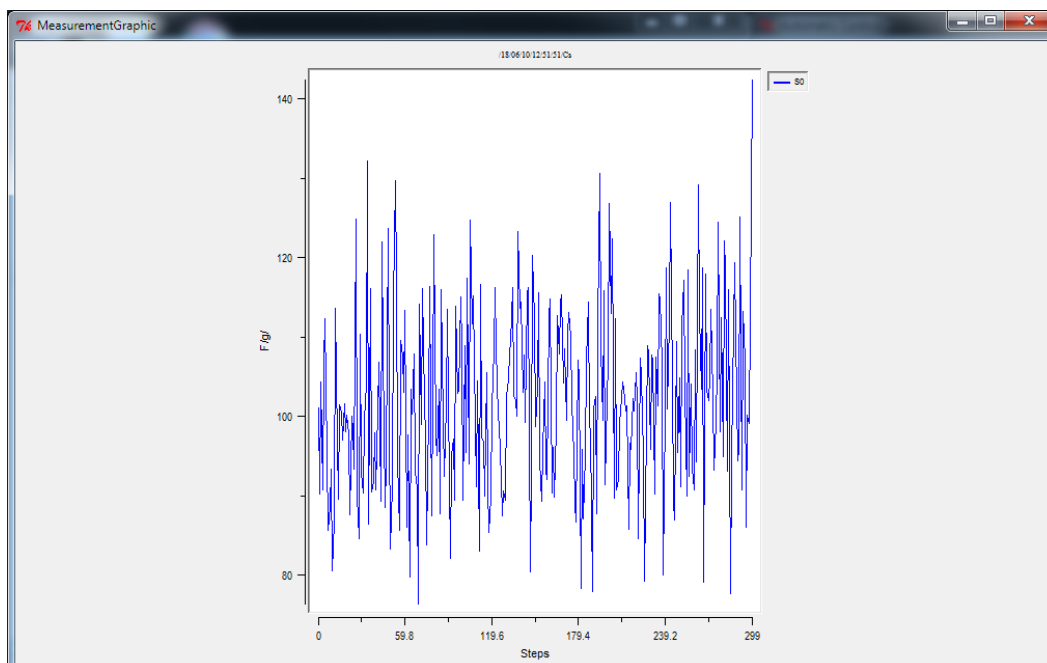


Фиг.5.11. Експеримент с образец от материал мускулна тъкан.

На Фиг.5.12 и Фиг.5.13 са показани резултати от измервания, които приемаме за еталонни и се съхраняват в програмата. Правим сравнение между получения резултат и еталонните данни.



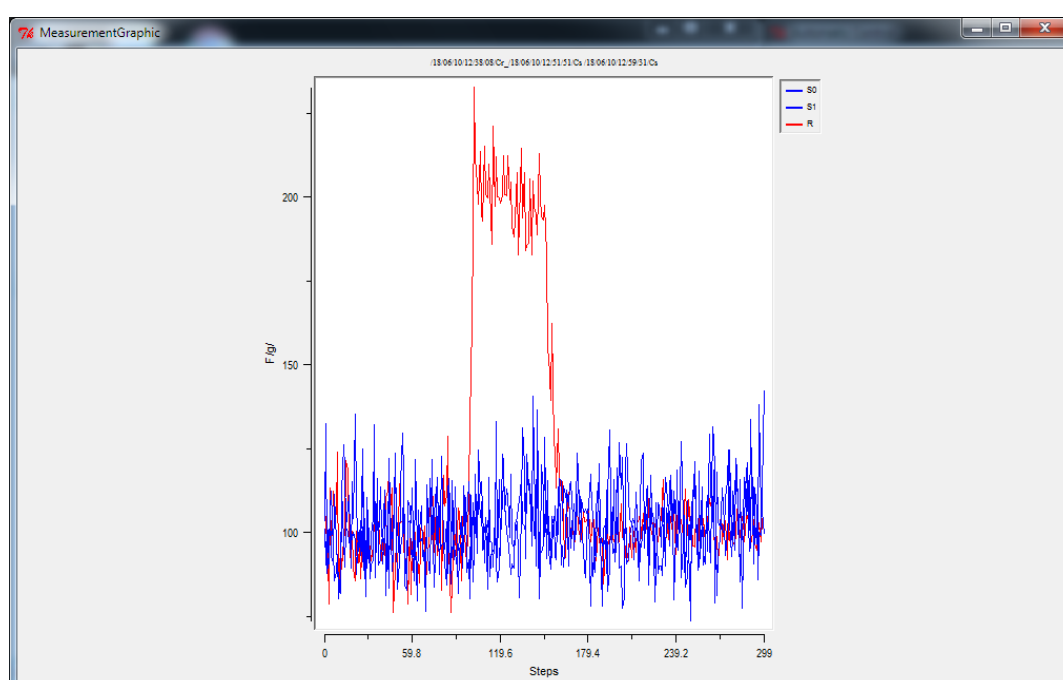
Фиг.5.12. Резултат от измерване с еталон 1.



Фиг. 5.13. Резултат от измерване с еталон 2

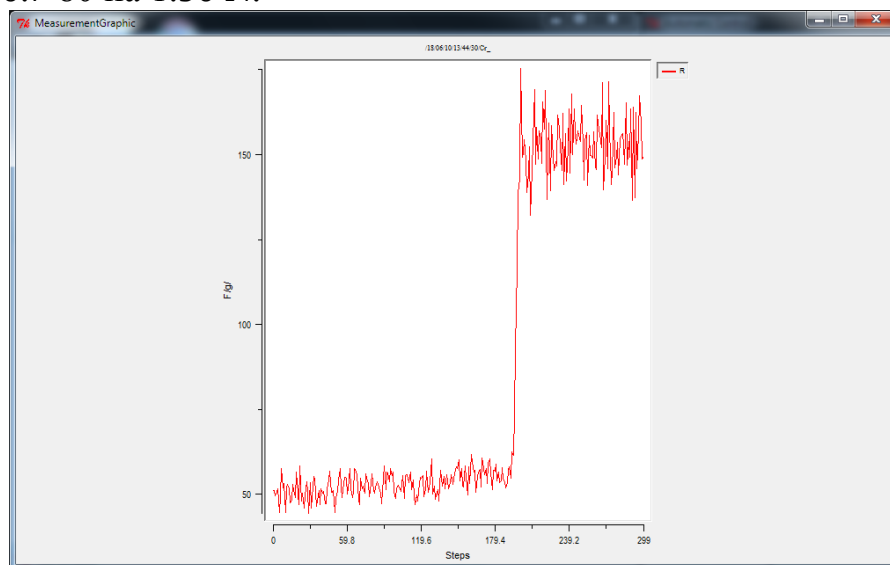
По оста X е отразена стъпката на двигателя, по оста Y е отразена измерената сила. Резултатите при еталон 1 са - минимално усилие 0.45 N при стъпка 210, максимално усилие 1.35 N. при стъпка, амплитуда 1.270 N. Резултатите от еталон 2 са минимално усилие 0.005 N. при стъпка 200, максимално усилие 1.45 N при стъпка 120 , амплитуда 1.37 N. Средна стойност на приложената сила 0.72 N.

Сравнителната графика от резултатите с образец от материал мускулна тъкан са показани на Фиг. 5.14. По оста X е отразена стъпката на двигателя, по оста Y е отразена измерената сила. Минимално усилие 0.045 N., максимално усилие 245 грама, амплитуда 2,36 N.



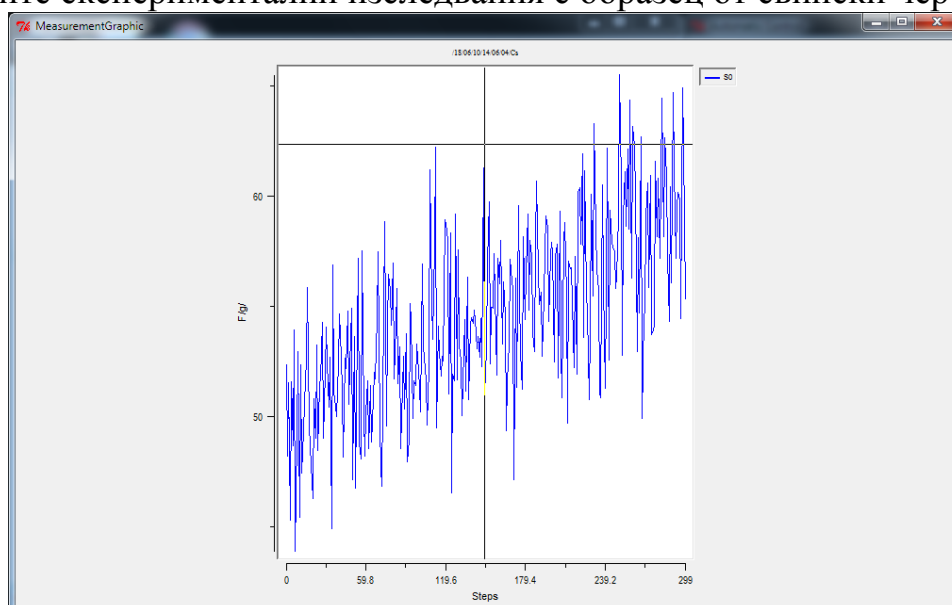
Фиг. 5.14. Сравнителна графика с образец мускулна тъкан.

Измервания с образец от черен дроб (свински), са показани на Фиг.5.15. Уредът е настроен сила: 0.4950 N. Брой микростъпки: 300. Стъпка на двигателя 1/2 Дължина на микростъпката: 24 микрометра. По оста Х е отразена стъпката на двигателя, по оста У е показана силата. Минимално усилие 0.05 N до 179 стъпка, максимално усилие 1.96 N. от 179 до 300 стъпка, амплитуда 1.95 N. Интересното при това измерване е , че усилието рязко се покачва от 0.7 80 на 1.90 N.

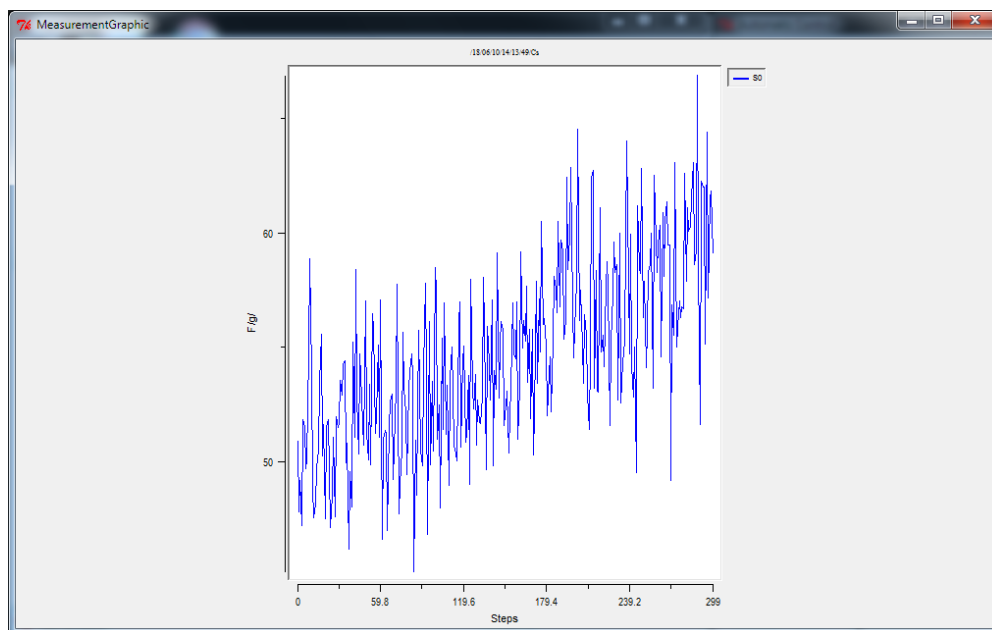


Фиг. 5.15. Експеримент с образец от свински черен дроб.

На Фиг.5.16 и Фиг.5.17 са показани резултати от измервания приети за еталонни и съхранявани в програмата, с които приемаме да сравним направените експериментални изследвания с образец от свински черен дроб .



Фиг.5.16. Резултат от измерване с еталон 1

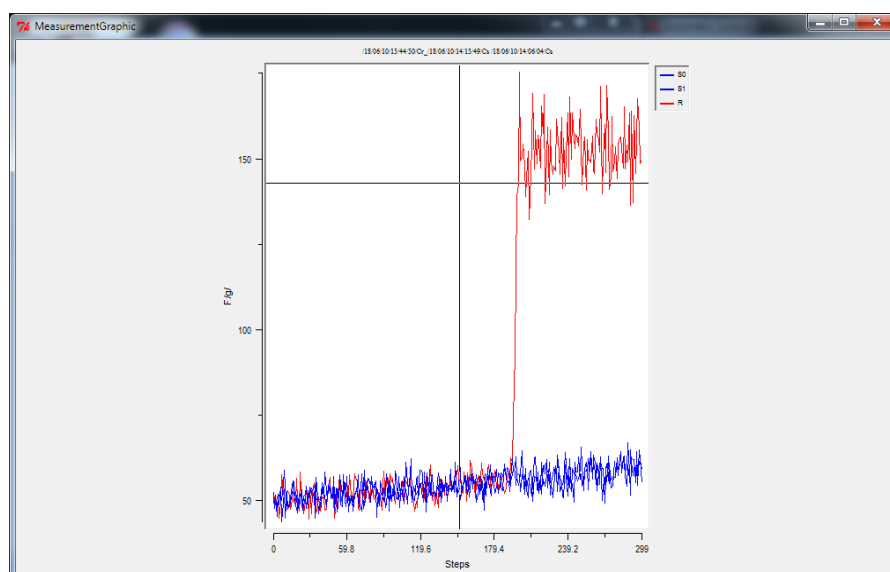


Фиг. 5.17. Резултат от измерване с еталон 2

По оста X е отразена стъпката на двигателя, по оста Y е измерената сила. Резултатите от измерване с еталон 1 са - минимално усилие 0.05 N. при стъпка 5, максимално усилие 1.32 N. при стъпка 230, амплитуда 1.270 N. Средна стойност на приложената сила 0.67 N.

Резултатите от измерване с еталон 2 са минимално усилие 0.45 N. при стъпка 90, максимално усилие 1.42 N. при стъпка 280, амплитуда 0.97 N. Средна стойност на приложената сила 0.72 N.

Сравнителната графика от резултатите с образец от материал черен дроб, свински са показани на Фиг. 5.18. По оста X е отразена стъпката на двигателя, по оста Y е отразена измерената сила. Минимално усилие 0.45 N. , максимално усилие 1.94 N, амплитуда 1.49. N. Средна стойност на приложената сила 0.93 N.



Фиг. 5.18. Сравнителната графика от резултатите с образец от материал черен дроб.

Уредът търси контакт с повърхността, регистрира наличие или отсъствие на контакт на върха на инструмента с дадената повърхност, измерва силата на взаимодействие на инструмента с дадена повърхност. Резултатите са показани и върху графика, като по оста X е отразена стъпката на двигателя, по оста Y е илюстрирана силата. Показана е и обща графика от проведените експерименти, с които се доказва, че предложената технология е ефективна.

Заклучение:

Роботиката навлиза все по-широко в сферите на човешкия живот, в това число и в хирургическите зали. Над милион и половина операции през последните десетилетия са изпълнени с помощта на роботи. Една от тенденциите в медицинските технологии е разработване на инструменти.

В настоящата работа са проектирани лапароскопски изпълнителни инструменти с подобрени инженерните характеристики и вградени сензори, за определяне на начален контакт „инструмент–обект“ и за измерване сили на взаимодействие. По-конкретно направен е системен структурен анализ на механизми подходящи за инструменти, което подпомага избор при проектиране. Този анализ се използва за разработената структура $R \perp R \parallel R$ на инструмент, който има автономно задвижване на кинематичните вериги към изпълнителните звена. Това опростява конструкцията като се избягват допълнителни ролки при задвижване на изпълнителните звена, осигурява по-висока надеждност и се облекчава поддържането на стерилност. За оценката на кинематичните характеристики се решава правата задача на кинематиката, оптимизира се геометрията на инструмента, така че в определена област конфигурациите да осигуряват оптимално движение. Изведените аналитични зависимости на предавателните функции дават възможност за провеждане на изчислителни процедури за оптимизиране на размери при други

ограничителни условия, а също така и за залагане в софтуера за управление движението на инструмента.

Разработеният хващащ инструмент с гъвкави изпълнителни звена доказва и дава начало за изследване на по-високата адаптивност към неправилна геометрична форма и променлива податливост на обекти, характерни за лапароскопската хирургия.

Чрез разработеният лабораторен модел на устройство за провеждане на експериментални изследвания с вградени сензори, хардуер и софтуер се създават предпоставки за определяне на начален контакт „инструмент – обект“ при манипулация и измерване на силите на взаимодействие при изпълнение на операцията. Проведените експериментални изследвания регистрират търсене на контакт - наличие или отсъствие на контакт, измерват силата на взаимодействие на инструмента с дадена повърхност. Получените резултати се визуализират в графичен вид и се съхраняват в база данни. Предстоят системни изследвания за доказване на повтаряемост и достоверни граници на отклонения.

Приносите в Дисертационния труд имат научно-приложен и приложен характер.

Научно –приложни приноси:

- 1.Разработен и изследван е функционално действащ модел на инструмент с $R \perp R \parallel R$ структура, при която се избягват допълнителни ролки при задвижване на изпълнителните звена, осигурява по-висока надеждност и се облекчава поддържането на стерилност.
2. Разработен и изследван е хващащ инструмент с гъвкави изпълнителни звена, проведени са функционални изследвания за доказване на по-висока адаптивност към неправилна геометрична форма и променлива податливост на обекти, характерни за лапароскопската хирургия.
- 3.Проектиран и изработен е лабораторен модел на устройство за провеждане на експериментални изследвания с вградени сензори за определяне на начален контакт „инструмент – обект“ при манипулация и измерване на силите на взаимодействие при изпълнение на операцията.
- 4.Проектиран и изработен е хардуер и софтуер към лабораторния модел и са проведени функционални експерименти, като данните са представени графично.

Приложни приноси.

1. Направено е системно изследване на кинематични схеми на лапароскопски изпълнителни инструменти, което облекчава изборът на инженерно решение за съществуващите и/или разработка на нови инструменти.
2. Изработеният лабораторен модел на устройството, хардуера и софтуера, позволява да се продължат експерименталните изследвания за установяване на повтаряемост и надеждност на резултатите за силовото взаимодействие „инструмент – обект“ .

В. Публикации по дисертационния труд

B1. Ivanova V., Tools for haptics system in laparoscopic surgery, 21th International Scientific and Technical Jubilee Conference “Automation of Discrete Production Engineering 2012”, Sozopol, 20-24 June 2012, Technical University Publication House, ISSN-1310-3946, (396-401).

B2. Pavlov V., I Chavdarov, V. Ivanova, Structural Analysis of Mechanisms in Laparoscopic Instruments, **(2012)** Computer Control Systems. ISSN 1310 – 8255, pp 93-99

B3. Ivanova V., Pavlov V., I Chavdarov, Laparoscopic robotized instrument, Proceedings in Manufacturing Systems, Romanian Academy Publishing House , Vol.12 Issue 1, (2017) ISSN 2343-7472., ISSN_L 2067-9238, pp 29-34 www.icmas.eu 2017

B4. Ivanova V, K., Koleva, R., Mihailov, I., Beniozef, Family tools for robot – assisted surgery , Proceedings in Manufacturing Systems, Romanian Academy Publishing House , Vol.8 Issue 2, (2013) ISSN 2067-9238., pp117-122 www.icmas.eu 2013

B5. Ivanova V. Laparoscopic device for restore sense of touch , Mechanics of Machines, Technical University –Varna ISSN 0861-9727, Vol. 99, No.4, 2012 pp. 46-50

B6. Ivanova V. Z.Ilcheva, D Bachvarov, A.Boneva., Control system and softweree package for an experimental module with force feedback capabilities ., Proceedings in Manufacturing Systems, Romanian Academy Publishing House , Vol.13 Issue 1, (2018) ISSN 2343-7472., ISSN_L 2067-9238, pp 3-10 www.icmas.eu 2018

B.7 Ivanova Veronika, Ditchko Batchvarov , Zlatoliliya Ilcheva, Ani Boneva, Svetozar Ilchev, Alexander Alexandrov, Rumen Andreev, Experimental Studies of the Structure of Biological Tissues Through Mechanical Effects with a Smart Laparoscopic Instrument, j. MATEC Web of Conferences, eISSN: 2261-236X, Published by: EDP Sciences, Vol. pp.1-7 MATEC Web of Conferences, Volume 292 (2019) DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201929201007>, ISSN:2261-236X, SJR:0.169 SJR, непопадащ в Q категория (Scopus)

LAPAROSCOPIC EXECUTIVE TOOLS FOR ROBOTS

Msc Veronika Ivanova

Abstract: Medical technology trends to the development of a new type of tools to improve the performance of medical staff and increase quality of care for patients. The main objective of this work is focused on improving some technical deficiencies of existing robotized surgical instruments. For this reason it designed a model of instrument for laparoscopic surgery with better mechanical characteristics. In

contrast to EndoWrist technology by Intuitive Surgical Incorporation – USA for daVinci instruments (three orthogonal rotations) we offer other decision of the construction. The instrument that was designed provides a kinematic structure with $R \perp R \parallel R$, which avoids additional rolls. The model allows obtaining the optimal working area of this instrument and force feedback control. Solving a direct kinematical problem of the proposed scheme is done. At this work is proposed the application of an instrument with elastic links to handle of irregular shape objects. The required force to grasp and adapt to the form obtained as a result of mechanical elastic deformation.

It was designed and produced an original construction of an adequate experimental model, where was incorporated two force sensors to provide tool-tissue information to the surgeon. It was realized a program for control and monitoring of this model. The computer program includes information about various measurements of contact surfaces and data obtained from the experimental model is used to find the difference between saved data from previous measuring and received information in real time. Another signification advantage of the proposed program solution is the graphical visualization of the measuring and comparing the results. For verification of the functionality and working capacity of the experimental model with force feedback capabilities for robots were conducted different experiments with the designed control system.