TIPTA ROBOT UYGULAMALARI

Seçil ÖZÇILNAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK BİLGİSAYAR EĞİTİMİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞUBAT 2007
ANKARA

Seçil ÖZÇILNAK tarafından hazırlanan TIPTA ROBOT UYGULAMALARI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. İnan GÜLER
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Doç.Dr.M.Ali AKCAYOL

Üye : Prof.Dr.İnan GÜLER

Üye : Yrd.Doç.Dr.Rahmi CANAL

Tarih : 02/02/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Seçil ÖZÇILNAK

TIPTA ROBOT UYGULAMALARI

(Yüksek Lisans Tezi)

Seçil ÖZÇILNAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2007

ÖZET

İnsanlar yaşam şartlarıyla mücadele ederken doğal kısıtlamalarının üstesinden gelmek için yıllardır robotları kullanırlar. Son yıllarda, cerrahi operasyonlarda cerrahlara yardım etmek amacıyla robotlar geliştirilmiştir. Bu robotlar, cerrahların kullanımı amacıyla hazırlandığından; tasarım, güvenlik, güvenilirlik ve insan – robot ilişkisi gibi konular önem kazanmıştır. Cerrahi robotlar bu konular çerçevesinde büyük gelişim göstermişlerdir. Bu tez cerrahide kullanılan ana – bağımlı robotik sistem alanının en gelişmiş modeli olan daVinci ameliyat robotunu ve bu robotun gelecekteki gelişimini incelemektedir.

Bilim Kodu : **702.3.006**
Anahtar Kelimeler : **Robotik Cerrahi, daVinci Ameliyat Robotu, Küçük Cerrahi Girişim, Medikal Robotlar, Üç Boyutlu Ultrason Görüntüleme (3DUS), Tele-Robotik Cerrahi**
Sayfa Adedi : **149**
Tez Yöneticisi : **Prof. Dr. İnan GÜLER**

ROBOTIC APLICATIONS IN CLINICAL MEDICINE

(M.Sc. Thesis)

Seçil ÖZÇILNAK

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

February 2007

ABSTRACT

For decades, men have used robots to overcome their natural limitation in their dealing with the environment. In recent years, robots have been developed to assist surgeons in performing surgeries. Since these robots are meant for surgeons' use, the design and considerations for safety, reliability and human-robot interface become important. Surgical robots made a great success in this respect. This thesis explores daVinci operational robot which is the most developt sample in the master-slave robotic system in surgery, and the development of this robot in future.

Science Code : 702.3.006
Key Words : Robotic Surgery, The daVinci Sugery Robot, Minimally Invasive Surgery (MIS), Medical Robots, 3 Dimension Ultrason Stereo Viewing (3DUS), Tele-Robotic Surgery
Page Number: 149
Adviser : Prof. Dr. İnan GÜLER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof.Dr.İnan GÜLER'e, ayrıca Memorial Hastanesinin Kalp ve Damar Cerrahisi Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr.Bingür SÖNMEZ'e ve Dr.Faruk TÜKENMEZ'e, Florance Nightingale Hastanesinden Dr.Barış ÇAYNAK ve Dr.Ertan SAĞBAŞ'a, değerli öğretmen arkadaşım Uğur ÇIĞIR'a, olağanüstü yardımlarından dolayı Oktay ÇELTİK'e, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ xii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xiii

RESİMLERİN LİSTESİ xvi

SİMGELER VE KISALTMALAR xx

1. GİRİŞ 1

2. ROBOTİK CERRAHİ VE CERRAH ROBOTLAR 4

2.1. Taksonomi 5

2.2. Cerrahide Kullanılan Robot Çeşitleri 8

2.2.1. CT taraması (bilgisayarlı tomografi) 8

2.2.2. Cyberknife (siberbıçak) 8

2.2.3. AESOP Hermes-Ready (Computer Motion) 9

2.2.4. RoboDoc 11

2.2.5. Acrobot 12

2.2.6. Neuromate (sinirçifti) 12

2.2.7. Zeus (Computer Motion Inc.) 13

2.2.8. daVinci (Intuitive Surgical) 16

2.2.9. Elle çalıştırılan aletler 19

2.3. Cerrahi Robotlarda Bilinmesi Gereken Özellikler 19

Sayfa

2.3.1. Serbestlik (özerklik) derecesi 19

2.3.2. Çalışma alanı ve çözünürlük 20

2.3.3. Mekanizma çeşidi 20

2.3.4. Atalet ve sertlik 21

2.3.5. Hız, güç ve geri hareket edebilme 21

2.3.6. Dinamik sıra 22

2.3.7. Yer kontrolü ve güç kontrolü 22

2.3.8. Bant genişliği 22

3. DAVINCI AMELİYAT ROBOTUNUN PARÇALARI VE ÇALIŞMASI 24

3.1. daVinci Sistemine Giriş 24

3.1.1. Ana ünitenin incelenmesi 25

3.1.2. Bağımlı ünitenin incelenmesi 27

3.1.3. Görüntüleme ünitesinin incelenmesi 30

3.2. daVinci Bileşenlerini Anlamak 30

3.2.1. Ana ünite 30

3.2.2. Bağımlı ünite 50

3.2.3. Enstrümanlar 55

3.2.4. InSite görüntüleme sistemi 57

4. DAVINCI AMELİYAT ROBOTUNUN İÇYAPISI 64

4.1. Elektromekanik Parçalar 64

4.1.1. PID (orantı - integral – türev) denetleyici 64

4.1.2. Motor 65

4.1.3. Motor akım yükselteci ve dijital/analog çeviriciler 66

Sayfa

4.1.4. Kodlayıcı 67
4.1.5. Potansiyometre 67
4.1.6. Backlash (eklemlerdeki boşluk) 69
4.1.7. Devir eklemi 69
4.1.8. Seri (ardışık) bağlantı 69
4.1.9. Dişli / tel yapıları 70
4.1.10. Makara 70
4.1.11. Tel iletimi 71
4.1.12. Çıkrık 71
4.1.13. Silindir / sektör 72
4.1.14. Kam 72
4.1.15. Kam takipçisi 72
4.1.16. Ters ağırlık 73
4.1.17. Kılavuz vida 73
4.1.18. Harmonik sürme 74
4.1.19. Dişliler 74
4.1.20. Eğimli dişliler 75
4.1.21. Dürtü dişlileri 75
4.1.22. Oynak parça 75
4.1.23. Yavaş çalışan oynak parça 76
4.1.24. Yalpa çemberi (gimbal) 76
4.1.25. Hall etki sensörü 77
4.2. Algoritmalar 77

Sayfa

4.2.1. daVinci yazılım sisteminin üç seviyesi 78
4.2.2. Algoritmik entegrasyon 82
4.2.3. Algoritma çeşitleri 84
4.2.4. Davranışsal algoritma örnekleri 86
4.2.5. Performans Algoritmaları Örnekleri 88
4.2.6. Güvenlik algoritmaları örnekleri 90
4.3. Sistem Ağları ve Düğüm Noktaları 91
4.3.1. Temel ağ görünüşü 92
4.3.2. Sistem ağları 94
4.3.3. Düğüm Yapısı 103
4.4. Sistem Devreleri ve Operasyonların Teorisi 105
4.4.1. Elektronik kontrol güvenliği 105
4.4.2. Motor yolu PCA'lar 105
4.4.3. Kullanıcı ara yüz devreleri 115
4.4.4. Güç alt sistem devreleri 118
5. DAVINCI AMELİYAT ROBOTUNUN GELECEĞİ 124
5.1. İnternet Üzerinden Tele-Cerrahi Operasyon 124
5.1.1. Mevcut internet robotikleri 125
5.1.2. İnternet üzerinden tele-cerrahi operasyon gecikmeleri 126
5.1.3. İnternet üzerinden tele-cerrahi operasyonun geliştirilmesi 128
5.1.4. TCP/IP 128
5.1.5. UDP/IP ve RTP/UDP/IP 130
5.2. Cerrahi Robot Kılavuzluğu İçin Üç Boyutlu Ultrason Görüntüleme 135

Sayfa

5.2.1. 3DUS genel yapı 136

5.2.2. 3DUS sistemi ve sonuçları 137

5.3. Uzaktan Dokunma Duyusu Veren Enstrümanlar 139

6. SONUÇ 143

KAYNAKLAR 146

ÖZGEÇMİŞ 149

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. İnsan ve robot kapasitelerinin avantaj ve dezavantajları 5

Çizelge 3.1. daVinci sistemi arka plan renklerinin anlamları 46

Çizelge 3.2. İkon örnekleri 47

Çizelge 3.3. EndoWrist enstrümanları ve açıklamaları 55

Çizelge 5.1. UDP'de yalancı başlığın içeriği 131

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Robotiklerle ilgili bilgisayar yardımlı cerrahinin alt dalları 6

Şekil 2.2. Yöntemsel rol ve özerklik arasındaki ilişki 8

Şekil 2.3. AESOP'un ve cerrahın ameliyathanedeki konumu 11

Şekil 2.4. Zeus'un ve cerrahın ameliyathanedeki konumu 15

Şekil 2.5. daVinci'de ameliyathanenin herhangi bir yerinde duran ana ünite, kablolar ile hasta yanında duran köle ünite..... 18

Şekil 2.6. Serbestliğin derecesi 19

Şekil 3.1. Görüntüleme ünitesi bileşenleri 30

Şekil 3.2. Görüntüleme cihazı açı ayarı 37

Şekil 3.3. Kullanıcı arayüz panelinde kamera/endoskop seçimi göstergesi..... 37

Şekil 3.4. Kanül seçimi 38

Şekil 3.5. Test image (deneme görüntüsü) düğmesi 39

Şekil 3.6. Alet kollarını seçmek için ve sol veya sağ kontrol kolunu ayarlamak için kullanılan düğmeler..... 40

Şekil 3.7. Açılıp kapanan enstrüman uçları 43

Şekil 3.8. Yardımcı kol etiketine örnek 52

Şekil 3.9. Çarpışma ikonu 54

Şekil 3.10. InSite Panasonic bileşenleri ve optik yol..... 58

Şekil 4.1. PID denetleyicinin çalışmasına dair blok şema 65

Şekil 4.2. Motor akımının yükseltilip enstrüman uçlarına iletilmesi 66

Şekil 4.3. daVinci sistemindeki motor akım yükselteçleri ve DAC'ların kullanımının blok şeması 66

Şekil 4.4. daVinci sistemindeki kodlayıcıların kullanımını gösteren blok şema 67

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.5. daVinci sistemindeki potansiyometre 68

Şekil 4.6. Kontrol kollarındaki hareketin bağımlı ünitedeki kollara iletilmesinin blok şeması 68

Şekil 4.7. Devir eklemi 69

Şekil 4.8. daVinci kollarındaki seri bağlantının gösterimi 69

Şekil 4.9. Ana ünitedeki kollarda kullanılan Hall etki sensörü 77

Şekil 4.10. Algoritmaların sisteme entegre edilmesi 78

Şekil 4.11. daVinci yazılım sisteminin seviyelerini gösteren blok şema 80

Şekil 4.12. Hedef bulma algoritması 86

Şekil 4.13. Alet değişimi algoritması 87

Şekil 4.14. Servodöngü algoritması 88

Şekil 4.15. Ana – bağımlı üniteler arasındaki algoritma 89

Şekil 4.16. Kamera kolunun kontrol algoritması 89

Şekil 4.17. Data kazancı ve hata bulma algoritması 90

Şekil 4.18. Pot – Kodlayıcı karşılaştırma algoritması 91

Şekil 4.19. RS485 ağı 93

Şekil 4.20. Seri iletişim ağı 94

Şekil 4.21. UINet blok şeması 97

Şekil 4.22. ISCNet blok şema 99

Şekil 4.23. DSPNet ağı blok şeması 99

Şekil 4.24. DAFD modülü blok şeması 101

Şekil 4.25. FRL modülü blok şeması 102

Şekil 4.26. MNet blok şeması 104

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.27. Mantıksal 3,3V'luk besleme blok şeması 120

Şekil 4.28. Mantıksal 5V'luk besleme blok şeması 121

Şekil 4.29. Analog güç kaynağı blok şeması 122

Şekil 5.1. TCP/IP'de gerçek üretilen iş 129

Şekil 5.2. Aralarında 90km olan iki şehir arasındaki RTT gecikmesi 133

Şekil 5.3. Kıtalar arasında ölçülen RTT gecikmesi 133

Şekil 5.4. UDP paket büyüklüğünün RTT gecikmesine etkisi 134

Şekil 5.5. UDP ile gönderilen bilginin çok az bozulma ve az bir zaman kaybıyla ulaştığını gösterir dalga şekli 134

Şekil 5.6. Endoskop ve stereo 3DUS kullanımının zamana göre karşılaştırılması .. 139

Şekil 5.7. Giriş/çıkışın frekans ilişkisi 142

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 2.1. Cyberknife stereotaktikli görüntüleme sistemi (Accuray Inc.) 9

Resim 2.2. Birinci nesil cerrahi robot, AESOP 10

Resim 2.3. Hermes ses sisteminin fotoğrafı ve çizimi 10

Resim 2.4. Acrobot (Acrobot Company, Londra, İngiltere) 12

Resim 2.5. Zeus cerrahi robotunun kolları 13

Resim 2.6. Zeus konsol 14

Resim 2.7. Zeus'un kollarındaki cerrahi enstrümanların vücut içinden görüntüsü ... 14

Resim 2.8. Zeus'un cerrahi enstrümanları 15

Resim 2.9. Amerika'da bulunan doktor tarafından Fransa'da yapılan ameliyatın görüntüsü 16

Resim 2.10. Da Vinci Sisteminin ana ünitesi, kontrol kolları, pedallar ve robot kollarındaki özel cerrahi enstrümanlar 17

Resim 2.11. daVinci sisteminde hasta yanında bulunan ünite bağımlı ünite olarak adlandırılmaktadır. 17

Resim 2.12. Da Vinci robot koluna takılan cerrahi enstrümanların 7 eksenli hareketi 18

Resim 3.1. Soldan sağa, ana ünite, görüntüleme ünitesi, bağımlı ünite 24

Resim 3.2. Ana ünite 27

Resim 3.3. Bağımlı ünitenin yandan görünüşü 28

Resim 3.4. Enstrüman kolu 28

Resim 3.5. Kamera kolu 29

Resim 3.6. Bağımlı ünite bileşenleri 29

Resim 3.7. Kullanıcı arayüz panelinin sol tarafında bulunan yükseklik ayarlama düğmeleri 31

Resim **Sayfa**

Resim 3.8. Kullanıcı arayüz paneli 32

Resim 3.9. Kullanıcı düğme paneli 32

Resim 3.10. Renk kodlu alet kolları ile bağımlı ünitenin yandan görünümü 41

Resim 3.11. Enstrüman kol ikonlarına örnek 42

Resim 3.12. Alet kolu değişimini belirten iletisine örnek 42

Resim 3.13. Stereo görüntü ayarlama düğmelerinin konumu 45

Resim 3.14. Ana Ünite arka paneli 46

Resim 3.15. Ayak anahtarları 48

Resim 3.16. İki türlü enstrüman kol kanülü vardır: Uzun ve kısa. 51

Resim 3.17. Yardımcı kol ve kontrolleri 53

Resim 3.18. Merkez parmaklık üzerindeki yardımcı kol örneği 53

Resim 3.19. Açılı ve Düz Endoskop tipleri 60

Resim 3.20. Tip 1 Endoskop 60

Resim 3.21. Kamera kolu steril adaptörlerine örnek resimler 60

Resim 3.22. Tip2 Geniş Açılı Kamera Başlığı 61

Resim 3.23. Panasonic görüntüleme ünitesi bileşenleri 62

Resim 3.24. Olympus görüntüleme ünitesi bileşenleri 63

Resim 4.1. daVinci sisteminde kullanılan motorlara örnek 65

Resim 4.2. daVinci sistemindeki dişli/tel yapılarına örnek 70

Resim 4.3. daVinci sistemindeki makaralara örnek 70

Resim 4.4. Tel iletimine örnekler 71

Resim 4.5. daVinci sistemindeki çıkrık örneği 71

Resim 4.6. daVinci sistemindeki silindirler 72

Resim **Sayfa**

Resim 4.7. daVinci sistemindeki kam, kam takipçisi ve kam yatağı 72

Resim 4.8. daVinci sisteminde ağırlık dağılımları 73

Resim 4.9. Klavuz vida 73

Resim 4.10. daVinci sisteminde kullanılan mekanik parçalardan bazıları 74

Resim 4.11. daVinci sistemindeki dişliler 74

Resim 4.12. daVinci sistemindeki eğimli dişliler 75

Resim 4.13. Dürtü dişlileri 75

Resim 4.14. daVinci sisteminde PSM'de kullanılan oynak parça 76

Resim 4.15. Yavaş çalışan oynak parça 76

Resim 4.16. Yalpa çemberi (gimbal) 77

Resim 4.17. daVinci'deki hafıza kartı 108

Resim 4.18. daVinci sistemindeki parametre anahtarları 108

Resim 4.19. Gerçek zamanlı saat devresi 109

Resim 4.20. SCP LED'leri 109

Resim 4.21. daVinci sistemindeki TFO ve reset anahtarları 111

Resim 4.22. Kablo bağlantı aparatı 111

Resim 4.23. daVinci devrelerinden örnek resim 112

Resim 4.24. daVinci sisteminin giriş-çıkış dağıtıcısı (IOD) 113

Resim 4.25. Video sinyal dağıtıcı (VSD) devresi 115

Resim 4.26. Harici iletişim ara yüzünün dahili bağlantıları 117

Resim 4.27. XCI harici bağlantıları 117

Resim 5.1. (A) peg board görevinin 3DUS (B) İp görevinin 3DUS resmi 138

Resim 5.2. Dokunma duyusu sensörlerinin kullanımı 140

Resim **Sayfa**

Resim 5.3. Dokunma göstergecinin dizaynı 141

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklama**
°	Derece
m	Metre
mm	Milimetre
m^3	Metre küp
MB	Mega byte
Hz	Hertz
ms	milisaniye

Kısaltmalar	**Açıklama**
MIS	Minimally Invasive Surgery (Küçük Cerrahi Girişim)
MRI	Magnetic Resonance Imaging (Manyetik Rezonans Görüntüleme)
CT	Computed Tomography (Bilgisayarlı Tomografi)
LED	Light Emitting Diode (Işık yayan diyot)
FDA	Food and Drug Administration (Gıda ve İlaç Yönetimi)
AESOP	Automated Endoscopic System for Optimal Positioning (En verimli yerleştirme sağlayan otomatik endoskopik sistem)
USB	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Yol)
COM	Seri port
DOF	Degrees of Freedom (Serbestlik derecesi)
MEMS	Microelectrical Mechanic Systems (Mikroelektrikli Mekanik Sistemler)

Kısaltmalar	Açıklama
AI	Artifical Intelligence (Yapay Zeka)
AC	Alternatif Akım
PSM	Patient Side Manipulator (Hasta tarafındaki manipülatör -kol-)
COAG	Foot switch pedal to control coagulation (Koyulaştırma kontrolu için ayak anahtarı)
ISI	Intiutive Surgical Inc. (Sezgisel Cerrahi Şirketi)
PID	Propotional, Integral, Derivative Controller (Orantı, İntegral Türev Denetleyicisi)
MSD	Multiple Servo Driver (Çoklu Motor Sürücü)
ECM	Endoscopic Camera Manipulator (Endoskopik kamera manipülatörü)
ADC	Analog/Dijital Çevirici
DAC	Dijital/Analog Çevirici
PSM	Patient Side Manipulator (Hasta tarafı manipülatörü)
FRL	Fault Reaction Logic (Hata tepki mantığı)
MTM	Master Toll Manipulator
SUJ	SetUp Joint (kurulum noktası)
PSC	Patient Side Cart (Hasta tarafı kartı)
UI	User Input (Kullanıcı girişi)
BP	Behavior Primitives (İlkel davranışlar)
CTP	Control Transform Processor (Kontrol çevrim işlemcisi)
PD	Proportional derivative (orantı türev)
DSP	Digital Signal Processor (Dijital sinyal işlemcisi)
PCA	Printed Circuit Assembly (Baskı devre topluluğu)
SCP	System Control Processor (Sistem kontrol işlemcisi)
MNet	Monitoring Network (Ağ izleme)
UINet	User Interface Network (Kullanıcı arayüz ağı)

Kısaltmalar	Açıklama
ISCNet	Intersystem Serial Communication Network (Genel sistem seri iletişim ağı)
UMC	UINet Master Controller (UINet Ana Denetleyicisi)
IMC	ISCNet Master Controller (ISCNet Ana Denetleyicisi)
MIP	MNet Information Protocol (MNet bilgi protokolü)
XCI	External Communication Interface (Harici iletişim arayüzü)
UIS	User Input Status (Kullanıcı giriş durumu)
UIP	User Input Panel (Kullanıcı giriş paneli)
USP	User Switch Panel (Kullanıcı anahtar paneli)
RIA	Remote Interface Adaptor (Uzaktan arayüz adaptörü)
TVD	Text and Video Display (Yazı ve video görüntüleyici)
MSC	Master System Controller (Ana sistem kontrolcüsü)
IOD	Input/Output Distribution (Giriş/Çıkış dağıtıcı)
PDC	Power Diagnostic Controller (Güç tanımlama denetleyicisi)
DAFD	Data Acquisition and Fault Detection (Veri kazancı ve hata bulma)
CE	Compute Engines (Hesaplama makineleri)
RIA	Remote Interface Assembly (Uzak ara yüz devreleri)
LMA	Lift Motor assembly (Kaldırma motor devreleri)
LIA	Lift Interface Assembly (Kaldırma ara yüz devreleri)
PVP	Position & Velocity Processor (Pozisyon ve hız işlemcisi)
SPL	Servo Processing Logic (Servo işlem mantığı)

Kısaltmalar	Açıklama
PPS	Primary Power Supply (Birincil güç kaynağı)
BPM	Battery Pack Module (Batarya paket modülü)
L3S	Logic 3,3V Supply (Mantıksal 3,3V güç kaynağı)
L5S	Logic 5V Supply (Mantıksal 5V güç kaynağı)
APS	Analog Power Supply (Analog güç kaynağı)
FPS	Fan Power Supply (Fan güç kaynağı)
SMB	System Motherboard (Sistem anakartı)
SPS	Secondary Power Supply (İkincil güç kaynağı)
SMA	Shape Memory Alloy (Şekil Hafızalı Alaşım)
3D	Three Dimension (Üç boyut)
3DUS	Three Dimension Ultrason System (Üç boyutlu Ultrason görüntüleme)
TCP/IP	Tranmission Control Protocol/Internet Protocol (İletişim kontrol protokolü/İnternet protokolü)
UDP	User Datagram Protocol (Kullanıcı veri protokolü)
RTP	Real Time Protocol (Gerçek zamanlı protokol)
ICMP	Internet Control Message Protocol (İnternet Kontrol Mesaj Protolü)
RTT	Dönüş tur zamanı

1. GİRİŞ

Robot, programlanabilir bir elektronik denetleyiciye sahip, kendiliğinden hareket edebilen makine olarak tanımlanabilir. Daha geniş tanımıyla, amacına ulaşmak için, ortamdaki ve sahip olduğu verileri değerlendirebilen, kendi kendini kontrol edebilen, elektronik ve mekanik parçalardan oluşan makinelerdir denilebilir [1].

Bir robot tasarlamak ve yaratmak çok boyutlu, zor bir kontrol problemidir. Robotu oluşturan dört ana sistemi birbirine uygun bir biçimde seçmek ve hepsini birlikte geliştirmek gerekmektedir.

Robotu oluşturan dört ana sistem

1. Robotun ortam hakkında gerçek-zamanlı bilgi edinmesi için kullanılan alıcılar,
2. Robota amacına yönelik fonksiyonları gerçekleştirmesi için yerleştirilen uygulayıcılar,
3. Robotun hareket sistemi,
4. Kontrolü sağlayan elektronik bölümdür.

Bu dört sistem birleştirildiğinde ortaya kendi başına hareket eden, bilgi toplayan, yapacağı işin niteliklerine göre donanmış bir robot çıkabilmektedir.

Robotların temel görevi işleri kolaylaştırmaktır. Bu nedenle insanların hareketlerini taklit edecek şekilde tasarlanırlar. Robotların fiziksel özelliklerine bakıldığında bu benzerlik kolaylıkla fark edilebilmektedir. İnsanlar kas ve iskelet sistemleri sayesinde vücutlarını hareket ettirirler. Duyu organları sayesinde çevrelerinde olan biteni algılarlar. Kasları, duyu organlarını kontrol eden bir beyin vardır.

Robotların hemen hepsi hareket edebilmektedir. Bazıları yalnızca gücünü motorlardan alan tekerlekler yardımıyla hareket ederken, ötekiler metal ya da plastik gibi malzemelerden yapılmış çok sayıda hareketli parçadan oluşabilmektedir. Hareketliliği sağlayabilmek için, insan iskelet sisteminde olduğu gibi, robotların da

hareketli parçaları eklemlerle birbirine bağlanmalıdır. Eklemler, elektrik motorları ya da pistonlarla hareket ettirilebilir.

Robotlar, güç kaynağı olarak genellikle elektrik kullanmaktadır. Bu, robotun üzerinde bulunan bir pil ya da elektrik şebekesinden alınabilir. Karmaşık robotlarda, çok sayıda motor, piston ve bunları kontrol etmek için çok sayıda elektronik devre bulunabilmektedir.

Robotların Kullanıldıkları Yerler

Robotlar, günümüzde özellikle endüstride çok yaygın olarak kullanılırlar. İnsanlar için tehlikeli, zahmetli ve sıkıcı işleri yaparlar. Bu şekilde insanlar tehlikelerden korunduğu gibi, daha uzun zaman alacak işler çok daha kısa sürede bitirilebilir.

Robotlar, genellikle fabrikalarda kullanılsa da, kullanım alanlarının sınırı yoktur. Robotların en çok kullanıldığı alanlardan biri de uzay araştırmalarıdır. Aslında, robotlar olmadan gerçekleştirilebilen bir uzay uçuşu yok denilebilir. Çünkü gönderilen uzay araçlarının her biri aslında birer robottur.

Bugünkü yeniliklerin ışığında öyle görünüyor ki, robotlar günlük hayatın "vazgeçilmez ihtiyaçları" arasında yerlerini almak üzeredir [2].

Son yıllarda geliştirilen robot teknolojisi ile hassas ameliyatlarda mükemmele yakın hareketler sağlanabiliyor. Bu robotlar, çok küçük kesiklerden vücut içerisine yerleştirdikleri cerrahi aletler sayesinde en karmaşık hareketleri en hassas şekilde yapabilir. Cerrahlar oturdukları yerden robotların kolları üzerindeki hassas aletleri kontrol edebilir. Bu kollar, hiç bir titreme olmaksızın cerrahın tüm komutlarını yerine getirir. Robotik teknolojide ameliyat bölgesine çok ince bir aralıktan ulaşılıp, kibar ve kesin hareketler yapıldığı için dokulara çok az hasar verilir. Bu sayede ameliyatlar en az komplikasyonla tamamlanıp yaraların iyileşme süreci oldukça hızlanır [3]. Bu tezin konu aldığı "daVinci Ameliyat Robotu" da tıpta kullanılan bir robottur.

Bu tez 6 bölümden oluşmaktadır. İkinci bölüm robotik cerrahi kavramını ve tıpta kullanılan robotların özelliklerini, çeşitlerini; üçüncü bölüm daVinci robotunun parçalarını ve çalışmasını; dördüncü bölüm daVinci robotunun içyapısını; beşinci bölüm ise robotik cerrahinin zorluklarını ve geleceğini içermektedir. Altıncı bölümde bu tezden çıkan sonuçlar açıklanmaktadır.

2. ROBOTİK CERRAHİ VE CERRAH ROBOTLAR

1970'lerden itibaren robotikler birçok endüstride yaygın olarak kullanılmasına rağmen, 1990'ların sonlarına kadar insanlar üzerinde cerrahi operasyon gerçekleştiren robot kavramı tam olarak şekillenmemişti [4]. Bu durum, robotların güvenlik nedenleriyle insanlardan uzak çalışması gerektiği genel anlayışından kaynaklanmaktadır.

Günümüzde teknolojinin ulaştığı düzeye bakılırsa cerrahi robotlar, cerrahların yerini alma amacıyla üretilmemiştir. Genel olarak robotlar hala, beklenmeyen durumlarla başa çıkmadaki yetersizlik, bilginin sınırlı oranda anlaşılması ve açıklanması gibi sıkıntılar çekmektedir [5-8]. Algılama ve karar verme yeteneğine sahip olan cerrah, halen cerrahi operasyonlarda sorumluluğu alan başlıca yetkilidir. Bu nedenle cerrahi robotlar, cerrahların kapasitelerini arttıran fakat onların yerini almayan yüksek kapasiteli araçlar olarak görülmelidir [9]. Çizelge 2.1, insanlarla karşılaştırılan robotların güçlerini ve zayıflıklarını cerrahi ile bağlantılı olarak özetlemektedir [10,11]. Cerrah, tıbbi robotik sistemlerin çoğunda kontrol organı olduğu için, etkili bir insan-robot ara yüzeyi oluşturulmalıdır. Ara birim konusu, yüksek oranda kesinlik ve doğruluk gerektiren cerrahi operasyonlarda daha ivedi hale gelir [12]. Ayrıca cerrahlar, robotlarla çalışmaya alışkın değildir. Bu nedenle, cerrahların cerrahi robotları kontrol etmelerini sağlayan ara yüzeyin tasarımı sezgisel, basit ve ergonomik olmalıdır.

Sezgisel bir kullanıcı ara yüzeyi temin etmenin etkili bir yolu, ana (master) – bağımlı (slave) robotik sistemi kullanmaktır [13]. Cerrahi kapsamındaki bağımlı robot, hastanın vücudunda cerrahi operasyonu yerine getiren gerçek robot manipulatördür. Ana robot ise cerrahın bağımlı robotu kontrol etmesini, sağlayan bir araçtır. Bağımlı sistem, düzgün bir kullanım sağlamak için aynı anda birçok girdi parametresini gerektiren özerkliğin birçok derecesine sahip olduğu takdirde, bu sistem özellikle faydalı olacaktır.

Çizelge 2.1. İnsan ve robot kapasitelerinin avantaj ve dezavantajları

	Cerrahlar	Robotlar
Avantajlar	- Çok yönlülük görevi - Yargı deneyimi - El-göz koordinasyonu - Milimetre ve santimetre boyutunda el çabukluğu - Kaynaksız bilgi füzyonuyla birçok algılayıcı - Kapsamlı ve farklı niteliklere sahip bilgilerin hızlıca işlenmesi	- Yinelenebilirlik - İstikrar ve kesinlik - İyonlaştıran radyasyonun toleransı - Farklı algılayıcılar - Farklı olan çevrenin en iyi şekilde kullanılması - Kolaylıkla ele alınan uzaysal el-göz dönüşümleri - Aynı zamanda verilen görevlerin başarıyla yerine getirilmesi
Dezavantajlar	- Sarsıntı - Yorgunluk - Dikkatsizlik - Yetenek, yaş ve zihin durumundaki çeşitlilikler - Nitelikli bilgiyi kolayca işleyememe durumu - Milimetrenin altındaki boyutlarda verimsizlik	- Pahalı - Kullanışsız - Geniş - Nitelikli bilginin işlenememesi - Çok yönlü olmamak - Başlangıç aşamasındaki teknoloji

Robotik Cerrahi deyimi aslında bir terminoloji karmaşasıdır. Telemanipulasyon Cerrahisi olarak isimlendirilmesi gereken bu teknoloji; bilgisayar destekli bir sistem olup, özel olarak hazırlanmış, cerrahın elinin uzantısı gibi davranan ve cerrahın yaptığı manipulasyonların aynısını aletlerin ucuna ileten enstrümanlar aracılığı ile uygulanır. Tüm bunları yaparken üç boyutlu görüntü sağlayan endoskopik cihazlardan yararlanılır. Bu teknoloji kendiliğinden (otonom olarak) bir iş yapmak üzere programlanmış olmadığı için, robot kelimesi yanlış bir isimlendirme olmasına rağmen toplumda ve cerrahi camiada bu sistemlere verilen Robotik Cerrahi deyimi kullanılmaktadır [14].

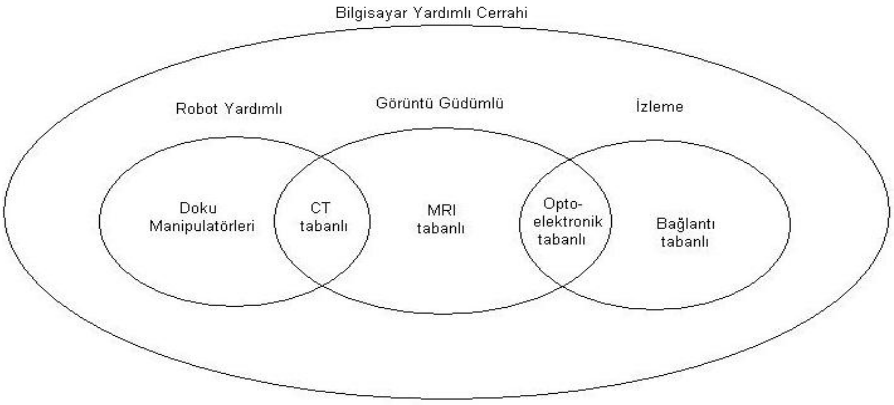
2.1. Taksonomi

Yeni ortaya çıkan bir alan olan robot yardımlı cerrahinin, bilgisayar yardımlı cerrahi kategorisinde sınıflandırılmasında güçlük çekilir [4,15]. Bu ayrım, hareketi kontrol eden ve sezgisel verileri işleyen bir mikroişlemcinin kullanılmasıyla ortaya çıkmıştır.

Bilgisayar yardımlı cerrahinin şekli henüz tam olarak belirlenmemiştir. Ayırt edilmesi gereken ilgili bazı alt alanlar bulunmaktadır. Her alan, burada kullanılan cihazlara ve sistemlere göre şekillendirilir.

Tıbbi görüntü, günümüzde hızlı ve ucuz hesaplamanın geniş ölçüde elde edilebilmesi sayesinde oldukça gelişen uzmanlık alanının çok iyi bir örneğidir. Manyetik rezonans görüntüleme (MRI), görüntü rehberliği için değişik teknolojilerle bütünleşebilen yumuşak doku anatomisinin üç boyutlu modellerini meydana getirir. MRI, görüntü güdümlü cerrahinin bir dayanağıdır fakat bilgisayar yardımlı cerrahi için hazırlanan MRI temelli sistemler, esasen robotik değildir ve bilgisayar kontrollü hareketlere pek fazla güvenmezler. Fakat bilgisayarlı tomografi (Computed Tomography, CT), kumanda organları, algılayıcılar ve işlemci sayesinde bir tarayıcı oluşturmak için manipulator kullanan bir görüntüleme modelidir. Bu nedenle CT'nin kullanıldığı cerrahi uygulamalar, robot yardımlı bir sistem olarak görülür ve bu sistemlerin çoğu, görüntü rehberliği amacıyla kullanılır. CT taramaları, cerrahi uygulamaların çoğunda bulunur fakat teknolojiyi anlaması için detaylı bilgi gerektirir. Bu durum, robotiklerin cerrahide uygulanmasına bir örnek teşkil eder.

Şekil 2.1, robotiklerle yakından ilgili olan bilgisayar yardımlı cerrahi alanlarını gösteren bir Venn şemasıdır; bu şekil alt alanların ayrıntılı bir listesi değildir. Robotikler, bilgisayar yardımlı cerrahi içerisinde yer almaktadırlar.



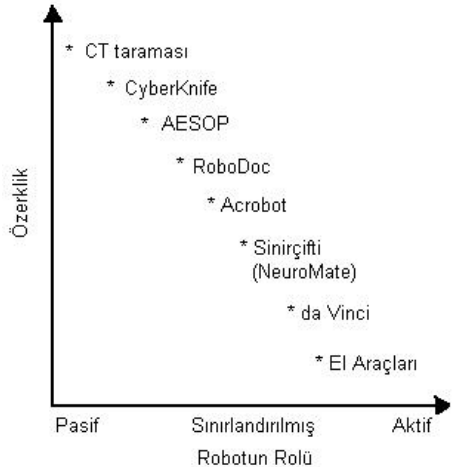
Şekil 2.1. Robotiklerle ilgili bilgisayar yardımlı cerrahinin alt dalları

20 yıldır cerrah robotların düzeni geliştirilmektedir ve çeşitli boyutlarda klinik olarak uygulanmaktadır. Bu gelişmeler, farklı robot çeşitlerini içeren bir kuruluşun taksonomisine izin verecek kadar yaygındır [4, 10, 16]. Taylor [10], robotların genel olarak sınıflandırılmasının teknolojiye, uygulamaya ya da robotların üstlendiği role dayandığını belirtir. Teknoloji tabanlı bir taksonomi, bağımsız ve uzaktan kumanda edilen robotlar gibi kategorileri içerebilirken; uygulama tabanlı bir taksonomi kardiyoloji ve üroloji gibi kategoriler içerebilir. Bu iki yaklaşımdaki sorun şudur ki: her iki taraftaki sınıflandırmalar da anlaşılmaz olabilir ve bu topluluğun dışındaki bireylere anlamsız gelebilir. Ayrıca, bu durum suni bir ayrımdır çünkü sorunu belirleyen uygulama, çözüm üreten teknolojiden ayrılmıştır. Rol tabanlı sınıflandırmalar daha faydalı olabilir çünkü onlar geniş kapsamlıdır ve teknolojiyi geliştiren veya kullanan bireylerle ilgilenirler. Böyle bir taksonomi, ihtiyaçları, gereksinimleri, performansı ve açıklamaları tanımlama konusunda ilgili tüm gruplar arasında iletişimi sağlayabilir.

Rol tabanlı taksonomi 3 ayrı kategoride sınıflandırılır [16]:

1. *Pasif rol:* Robotun rolü, faaliyet alanı içerisinde sınırlandırılmıştır ya da robotun bu sürece katılması düşük oranda bir risk taşımaktadır.
2. *Sınırlandırılmış rol:* Robot, daha büyük riskler taşıyan küçük girişim görevlerinden sorumludur fakat süreçteki gerekli bazı kısımlarda sınırlandırılmıştır.
3. *Aktif rol:* Robot sürece katılmaktadır ayrıca yüksek sorumluluk ve risk taşıyan görevleri yerine getirmektedir.

Bu sınıflandırma, giderek artan aktif bir role sahip robotların üstün nitelikli olduklarını öne sürebilir. Fakat bu durum sadece suni zeka içerisindeki mevcut kısıtlamalardan kaynaklanmamaktadır. Örneğin, yüksek riskli işlerde yardımda bulunan aktif roldeki bir robot, insanlarla iletişim içinde olmalı ve cerrah üzerindeki yükü arttıran denetleme sürecinden geçmelidir. Benzer şekilde bağımsız çalışan bir robot, sadece kapsamı dar olan ya da düşük riskli görevleri (pasif roldeki) yerine getirebilir. Bu durum, mevcut sistemlerdeki değişmeyi kabul etmek açısından önemlidir ve Şekil 2.2'de örneklendirilmiştir.



Şekil 2.2. Yöntemsel rol ve özerklik arasındaki ilişki

2.2. Cerrahide Kullanılan Robot Çeşitleri

Bu bölümde Şekil 2.2'de gösterilen robotların her biri açıklanacaktır. Ancak bunlardan halen pek çok merkezde özellikle kalp ameliyatlarında kullanılan; birinci nesil robotik sistem olan AESOP Hermes-Ready robotu, AESOP'tan sonra geliştirilen ikinci nesil robotik sistem olan Zeus, üçüncü nesil olarak adlandırılan Da Vinci robotu daha ayrıntılı şekilde açıklanacaktır.

2.2.1. CT taraması (bilgisayarlı tomografi)

CT, çeşitli operasyon görüntülerini elde etmek amacıyla bir manipulatörün, tarama işlemini farklı konumlarda ifade ettiği bir görüntüleme modelidir. CT'nin robotik bileşeni, ilgili anatomiyi incelerken tamamen bağımsızdır ve az dozdaki bir radyasyon dışında hastayla etkileşimde bulunmaz.

2.2.2. Cyberknife (siberbıçak)

Accuray Şirketi (Sunnyvale, Güneş vadisi, CA), gerçek zaman tescilini yerine getiren ilk stereo taktikli görüntüleme sistemini geliştirmiştir (Resim 2.1). Siberbıçak,

akciğerler gibi biçimsiz organlarda bile göğüs hareketini izleyerek ve senkron bir şekilde robotu sallayarak çeşitli tümörleri yaymak için kullanılır. Tedavi süreci, robotta bulunan lineer akseleratörün uzamsal yolunu oluşturan bir yol planlama algoritmasına yerleştirilen, tümörün işlem öncesi CT görüntüleriyle başlar. Bu yöntem sırasında, hastadaki tümörün bulunduğu yeri tespit etmek ve bu tümörü yok etmek amacıyla, gerçek zaman radyografik görüntüleri ile işlem öncesi CT görüntüleri arasında bağlantı kurarak işlem öncesi izlenen yolu otomatik olarak kontrol eder. Siberbıçak, bu yöntem sırasında tamamen bağımsız hareket ederken tümöre yönlendirilmiş olan lineer akseleratörü çalıştırır. Fakat bu yöntemden önce, bilgisayar kaynaklı yol dikkatli bir şekilde incelenmeli ve cerrah ya da ışın tedavi uzmanı tarafından redaksiyonu yapılmalıdır. Böylece yolun özerkliği azaltılır. Radyasyon seviyesi, kanserli hücreleri ortadan kaldırmaya yeterli olduğu için, siberbıçak CT'den daha aktif bir rol üstlenir. Robot, son derece enerjik bir etkileşim içerisine girerken, hastayla fiziksel etkileşimde bulunmaz ve böylece hastayla olan ilişkisi kısıtlanır [16].



Resim 2.1. Cyberknife stereotaktikli görüntüleme sistemi (Accuray Inc.)

2.2.3. AESOP Hermes-Ready (Computer Motion)

Kalp cerrahisinde robotların kullanımı ilk kez minimal invaziv mitral kapak operasyonlarında kameranın yönlendirilmesi için ses ile kontrol edilen bir robot kolunun (AESOP-Computer Motion) kullanılması ile başlamıştır [20] (Resim 2.2).



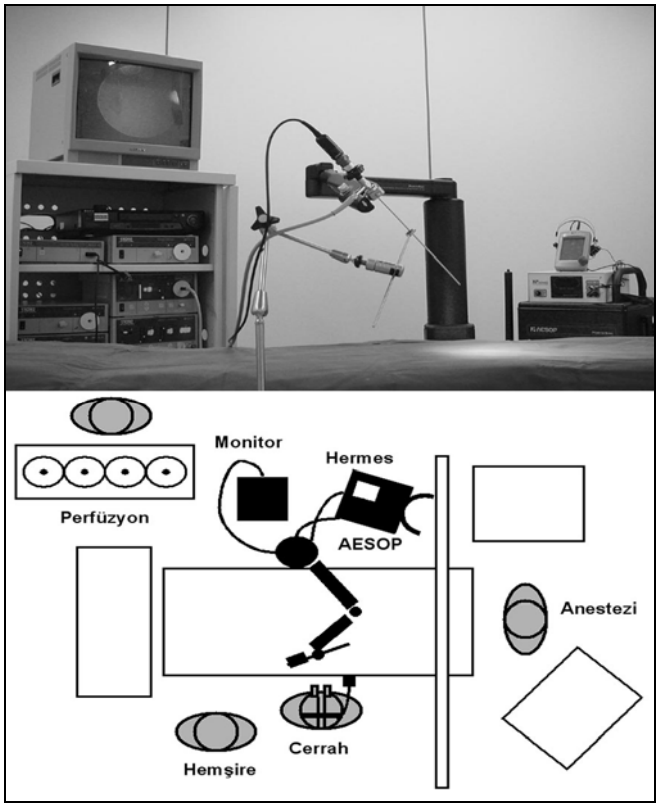
Resim 2.2. Birinci nesil cerrahi robot, AESOP

Ameliyatı yapanın, cerrahi sahada kesin ve stabil bir görüntü alabilmesi için en kritik görev olan endoskop pozisyonunu sağlayan robotik kol Hermes sistem aracılığı ile sesli komutlar ile aktive edilebilmektedir. (Resim 2.3)



Resim 2.3. Hermes ses sisteminin fotoğrafı ve çizimi

1994 yılında FDA (Birleşmiş Milletler Gıda ve İlaç Yönetimi) tanımlaması alan bu sistem ilk cerrahi robottur. Şekil ve fonksiyon olarak tamamen bir insan kolunu taklit ederek endoskopu pozisyonunda tutarken, kesinlikle yorulmaz ve cerrahın verdiği sözlü emirleri yanlış yorumlaması gibi bir sorun yaşanmaz. Sözlü emir ile sağlanan endoskopun pozisyonun değişimi çok süratli olabilmekte ve hafızasında tuttuğu numaralandırılmış 3 endoskopik pozisyonu hiçbir karışıklığa neden olmadan sağlayabilmektedir. Bunun için sınırlı bir kelime hazinesi vardır ve tercihen sadece sesi tanımlanmış olan bir cerrahın emirlerini tanıdığı gibi genel tanımlama yapabilen programlarda sağlanabilmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. AESOP'un ve cerrahın ameliyathanedeki konumu

AESOP, kendi hareketini sadece birkaç basit ses komutu ile kontrol etme konusunda özerktir. Pasif rolde değildir çünkü tüm süreç boyunca dokuyla sürekli temas halindedir. Fakat AESOP, pek fazla risk ve küçük işletme girişimleri içermeyen imgelendirme işlemi için kullanılır bu nedenle; rolü kısıtlı görülmektedir.

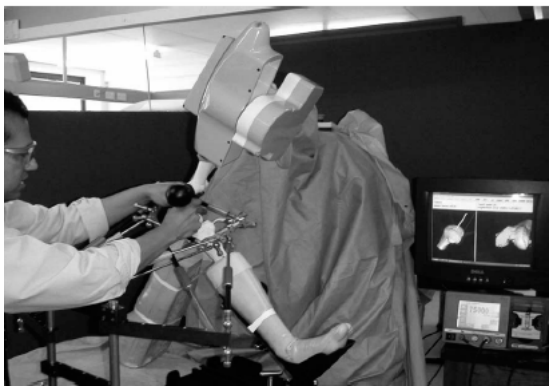
2.2.4. RoboDoc

Ortopedi, kemiklerin sert ve tahmin edilebilir yapısı nedeniyle cerrahi robotiklerin başarılı olduğu bir alandır. Robodoc, toplam kalça artroplastisinin kemik öğütme kısmı için kullanılır. Bu durum, işlem öncesinde cerrahın CT imgelerini incelemesini ve uygun olan implantasyonu seçip uygulamasını gerektiren görüntü güdümlü bir sistemdir. Ardından bu sistem, kesme yolunu oluşturur böylece; yöntemin bu kısmını bağımsız olarak yerine getirebilir. CT imgelerini ve fiziksel olarak hastayı eş zamanlı bir hale getirmek için cerrah, anatomik işaretler yerleştirerek işlem öncesi imgelerin

kaydedilmesi sürecine katılmalıdır. İşlem öncesindeki düzen ve el ile kayıt yapma süreci, özerklik seviyesini düşürür [10]. Öğütme süreci, yöntemin oldukça riskli kısmını oluşturur, fakat kemik öğütme işleminin yalnızca tek bir aşamada meydana geldiği toplam kalça antroplastisi uzun ve karmaşık bir yöntem olduğu için, Robotun rolü kısıtlı görülmektedir.

2.2.5. Acrobot

Akrobat Aktif Kısıtlama Robotik Sistemi (Akrobat ltd. şirketi, Londra, İngiltere) teknik açıdan zor olan toplam diz antroplastisi için geliştirilmiştir (Resim 2.4). Bu, motorun hareketlerini işlem öncesi görüntüler tarafından belirlenen bölgeye sınırlandırmak için oluşturulmuş motorlu bir kemik öğütme aracıdır. Birbirine sırayla bağlı motorlar, cerrahın kesme kuvvetini doğrudan hissetmesini sağlar fakat bazı bölgelerin de delinmesini önler [4]. Bu durum, robot için bağımsızlığın düşük bir seviyesidir ve robotun üstlendiği rol, RoboDoc'unkine benzer fakat küçük motorlar kullandığı için ve doğrudan cerrahın kontrolünde olduğu için bu sistem daha güvenlidir. Robotun aktif bir rolde olduğu düşünülür [17].



Resim 2.4. Acrobot (Acrobot Company, Londra, İngiltere)

2.2.6. Neuromate (sinirçifti)

Stereotaktik iğne yerleştirilmesi, 1985'den bu yana cerrahi robotların uygulanmasında görülür. Sinirçifti (Entegre Cerrahi sistemler), günümüzde stereotaktik sinir cerrahide kullanılan bir uygulamadır. Bu, el ile yapılan kayıtlarda

anatomik bir işaret kullanan görüntü güdümlü diğer bir sistemdir. Sinirçiftinin görevi, işlem öncesi görüntülere dayanan bir delme, sondaj ya da elektrotun ekleneceği yeri belirlemektir. Ardından aleti ekleme için uygun olan kısma yerleştirir, ek yerlerini kilitler ve cerrahın bu uygulamayı gerçekleştirmesini sağlayan bir rehber olarak hareket eder [18]. Aletler cerrahi alana tanıtılırken robot güç kazanmaz fakat yine de pasif olarak cerrahın hareketini önemli ölçüde kısıtlar. Bu nedenle sinirçiftinin, orta seviyede bir özerkliğe sahip olduğu düşünülür [16].

2.2.7. Zeus (Computer Motion Inc.)

Üç ayrı kol ameliyat masasına ayrı olarak monte edilmektedir. Bu kollardan birisi endoskopu tutan kol (Aesop Hermes-Ready) olup diğer iki kol cerrahın sağ ve sol elini sembolize etmektedir. Robotik kollar masaya monte edildiği için masa pozisyonu değiştirildiği zaman kolların pozisyonunun da birlikte değişmesi bir avantaj olarak görülmektedir (Resim 2.5).



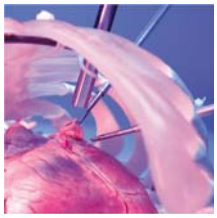
Resim 2.5. Zeus cerrahi robotunun kolları

Hastadan uzak olarak bir koltukta oturan cerrah, endoskoptan iletilen görüntüleri stereoskopik ekrandan, özel gözlükler takarak, üç boyutlu olarak izlemektedir (Resim 2.6).



Resim 2.6. Zeus konsol

Cerrah avuç içine aldığı kumanda cihazları ile portlardan göğüs boşluğuna sokulan özel enstrümanları, telemanipulasyon sistemi aracılığıyla kullanabilmektedir (Resim 2.7).

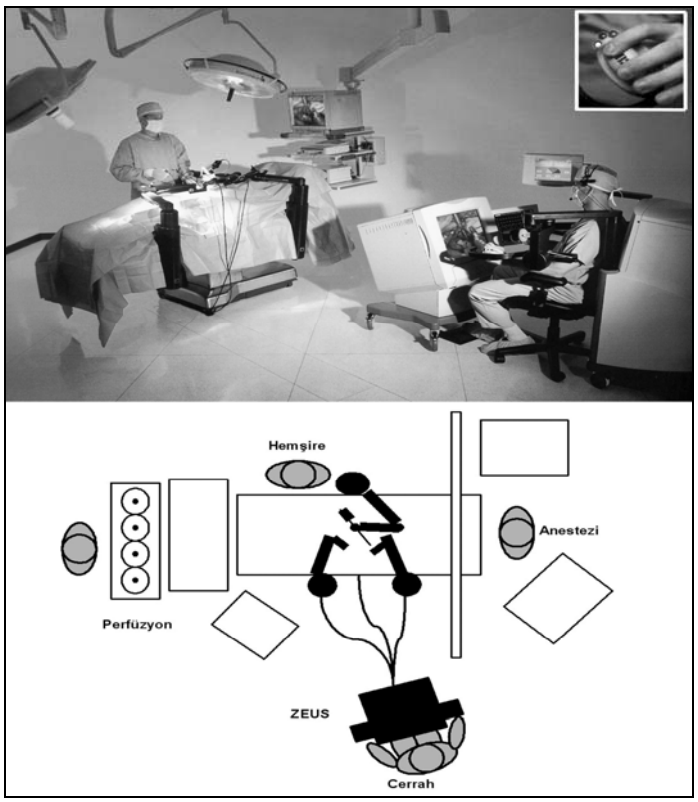


Resim 2.7. Zeus'un kollarındaki cerrahi enstrümanların vücut içinden görüntüsü

Hasta başında bulunan özel eğitim almış bir asistan gerekli olan aletleri değiştirir ve portlar aracılığı gerekli malzemeyi göğüs boşluğuna iletir (Şekil 2.4).

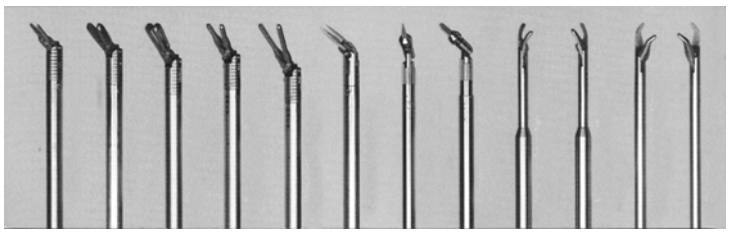
Sisteme ilave edilen Hermes teknolojisi ile endoskopun kullanımı sözlü emirler ile sağlanabileceği gibi ameliyathane içindeki her türlü organizasyon (ameliyat masasının pozisyonu, ışıklar vb.) sözlü emirler ile yapılabilmektedir. Ayrıca Socrates Sistem olarak adlandırılan ilave bir konsol aracılığı ile bir başka cerrah gerek aynı ameliyat ortamında, gerekse bir başka ortamdan, ameliyatı yapan cerraha yardım edebilmektedir. Bir kez NewYork'ta bulunan bir cerrahın Paris'te bulunan bir hastasına uydu aracılığı ile yaptığı kolesistektomi ameliyatı saati 250.000 dolara mal olduğu için bir daha tekrarlanamadı (Resim 2.9). Bu yöntemin gelişmesinin umudu;

fiberoptik telefon hatları teknolojinin gelişerek daha kolay ve ucuz bir hale gelmesi ile mümkün olabilecektir.



Şekil 2.4. Zeus'un ve cerrahın ameliyathanedeki konumu

Bu sistemde robotik kolların kinetiği, hareket serbestliği ve özel enstrümanların açılanmaları (Resim 2.8) yetersiz olup avuç içinde tutulan kumanda cihazları (Resim 2.6) ergonomik değildir.



Resim 2.8. Zeus'un cerrahi enstrümanları



Resim 2.9. Amerika'da bulunan doktor tarafından Fransa'da yapılan ameliyatın görüntüsü

2.2.8. daVinci (Intuitive Surgical)

Bu sistem, cerrahın ameliyat odasında uzak bir konsolda oturduğu ve odanın diğer tarafından aletlerin hareketini doğrudan kontrol ettiği bir uzaktan ameliyat sistemdir. Cerraha, üst düzey kontrol kumandasıyla (heptik ara yüzler) desteklenen ve hastanın vücudundaki bağımlı aletlerin hareketini doğrudan kontrol eden stereoskopik gösteriler temin edilir. Robot, cerrahın el hareketlerini yakından taklit ettiği için, özerk davranma seviyesi oldukça düşüktür. daVinci sistemi, kardiyak, karınla ve üroloji ile ilgili yöntemler içeren çeşitli küçük çaptaki uygulamalar için kullanılır. İnsan kontrolü altındaki robot, basit geribildirimler, makaslar, neşterler ve karmaşık yapıdaki yakıcı ve temel araçlar kullanarak hastanın dokularıyla fiziksel bir temas kurar. Bu nedenle, robotun aktif bir rol üstlendiği düşünülür [16].
Sistem iki ünite halindedir:

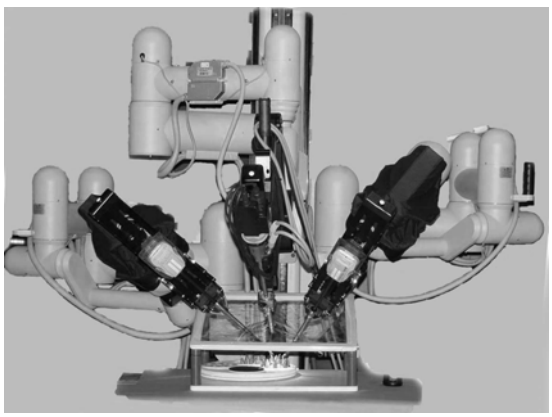
1. Ana Ünite (Resim 2.10),
2. Bağımlı Ünite (Resim 2.11).

Ameliyathanenin herhangi bir yerinde duran ana ünite, kablolar ile bağımlı üniteye bağlıdır ve ana ünitede oturan cerrah endoskoptan gelen 3 boyutlu görüntüleri rahat bir şekilde izleyebilmektedir. Hemen önünde bulunan el kumandasına parmaklarını geçirerek yaptığı her hareket, hasta yanında bulunan bağımlı üniteye telemanipulasyon ile intikal ettirilmektedir. Bağımlı ünitede birisi endoskop olmak

üzere üç kol mevcuttur. Ana ünitedeki ellerin kullandığı kontrol kolları robotun cerrahi aparatları tuttuğu iki kolunu hareket ettirir. Pedallar ise bağımlı ünitenin ayarlarını değiştirmek ve üçüncü kolun tuttuğu kamerayı hareket ettirmek için kullanılır. Robot kollarının mükemmel kinetiği ve yedi dereceli hareket serbestliği, bu sistemin üstünlüğü olarak gösterilmiştir (Kolların insan el bileğinin tüm hareketini yapabildiği söylenebilir) [19] (Resim 2.12). Kollara takılan enstrümanlar 90˚ açı ile manipule edilebilmektedir ve parmaklar ile kullanılan kumanda cihazı ergonomiktir (Şekil 2.5).



Resim 2.10. daVinci Sisteminin ana ünitesi, kontrol kolları, pedallar ve robot kollarındaki özel cerrahi enstrümanlar



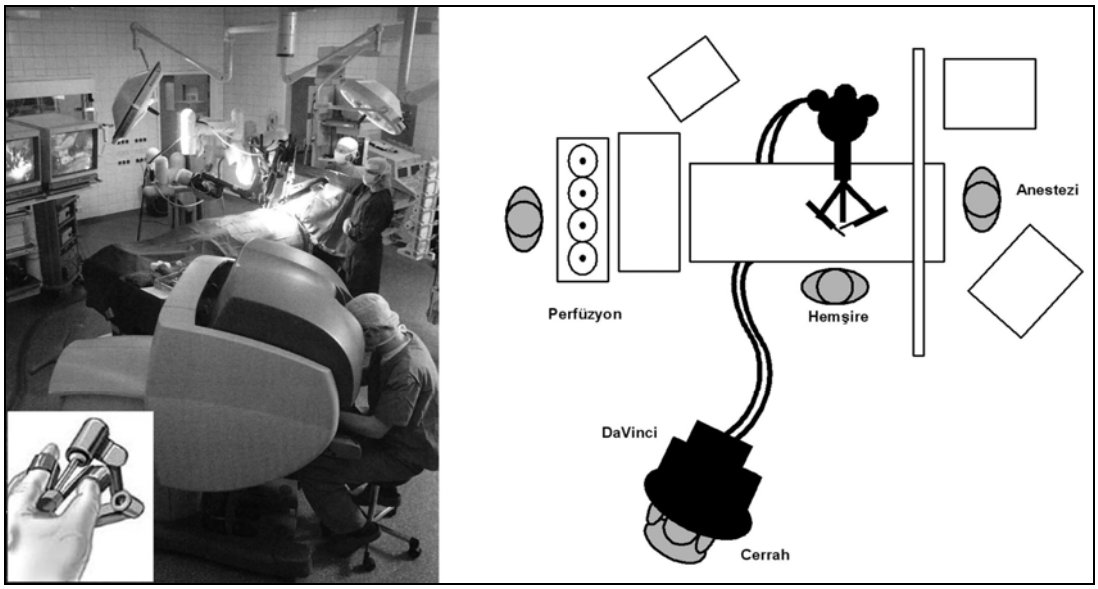
Resim 2.11. daVinci sisteminde hasta yanında bulunan bağımlı ünite.

Kolların ucundaki cerrahi enstrümanların milimetrik hareketi kollara takılan dişliler sayesinde gerçekleştirilir. Cerrahın yaptığı büyük hareketler, robotun kollarına da büyük hareketler olarak yansır ancak kollarla uçlar arasındaki dişliler sayesinde bu büyük hareketler milimetrik hareketlere dönüştürülür.

Sistemde hasta yanında bulunan özel eğitim almış bir hemşire ve asistan, cerrahın ihtiyacı olan enstrümanları değiştirmekte ve portlar aracılığı ile gerekli malzemelerin (sütür, loop vb) göğüs boşluğuna verilmesini sağlamaktadır (Şekil 2.5).



Resim 2.12. daVinci robot koluna takılan cerrahi enstrümanların 7 eksenli hareketi



Şekil 2.5. daVinci'de ameliyathanenin herhangi bir yerinde duran ana ünite, kablolar ile hasta yanında duran köle ünite

2.2.9. Elle çalıştırılan aletler

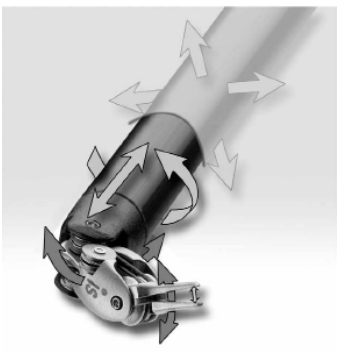
Geleneksel cerrahi araçların (gerçek robot değildirler) özerkliğe sahip olmadığı açıkça görülmektedir. El ile kullanılan cerrahi aletler, neredeyse tüm cerrahi yöntemlerde aktif rollerde kullanılırlar.

2.3. Cerrahi Robotlarda Bilinmesi Gereken Özellikler

Cerrahi bir robot seçilirken bazı özelliklerinin dikkate alınması gerekir. Önemli konulardan bazıları aşağıda detaylı bir şekilde belirtilmiştir.

2.3.1. Serbestlik (özerklik) derecesi

Serbestliğin derecesi (DOF, degrees of freedom), robotiklerde önemli bir kavramdır, robotun gerçekleştirebileceği bağımsız hareketlerin sayısını belirler. Alternatif olarak bu durum bireyin, genellikle robotun kullanılması için gerekli olan motor sayısına eşit olan alet ucunu kontrol edebildiği yumruların sayısı olarak algılanabilir. Derecelerin sayısı önemlidir çünkü bu sayı aletin uç denetleyicisindeki hareketin nasıl kısıtlanacağını belirler. Örneğin, 6 derece serbestliğe sahip olan bir robot uç denetleyicisinin x, y ve z yönlerinde hareket etmesini ve ayrıca yükseklik, sapma ve yuvarlanmada istenilen rotasyonun elde edilmesini sağlar (Şekil 2.6). 3 derece serbestliğe sahip olan bir robot rotasyon seçimine izin veremez, sadece hareketin x, y ve z yönlerindeki seçimine izin verebilir.



Şekil 2.6. Serbestliğin derecesi

Şekil 2.6'de 6 derece serbestliğe sahip olan robotik bir araç gösterilmektedir. Serbestliğin ilk 2 derecesi, iki düzlükteki giriş kısımlarını döndürme kabiliyetidir (çıkan oklar). Sonraki 2 derece, aleti içeri dışarı hareket ettirme ve döndürme kabiliyetidir (açık renkli oklar). Serbestliğin son 2 derecesi ise bileği yükseltme ve başka yöne saptırma kabiliyetidir (koyu renkli oklar). Serbestliğin bu 6 derecesi, çenenin pozisyonunun ve yönlendirilmesinin gelişigüzel belirlenmesini sağlar. Bu ise geleneksel endoskopik aletlerle yapılamaz. Sonda bulunan çift yönlü küçük oklar, bazen özerkliğin 7. derecesi olarak da adlandırılan sıkıca tutma amacı taşımaktadır.

2.3.2. Çalışma alanı ve çözünürlük

Çalışma alanı, uç denetleyicisinin ulaşabileceği alanın tümünü kapsayan basit bir kavramdır. Kabaca düşünüldüğünde bir robotun, robotun merkezinde toplanan 1m boyutundaki bir kutu olarak tahmin edilen $1m^{3'}$lük bir çalışma alanına sahip olduğu söylenebilir. Robot, bu kutudaki her noktaya ulaşabilecektir. Robotun çalışma alanı, bağlantılarının uzunluğu tarafından ayrıca eklem sınırları, kendi bağlantıları ve anatomi gibi diğer engeller tarafından da sınırlandırılır. Çözünürlük, robotun yapabileceği ya da ölçebileceği (bunlar farklı olabilir) en küçük yükselen hareketin belirlendiği çalışma alanı ile ilgilidir. Bu, çoğu zaman uzunluk olarak ifade edilir.

2.3.3. Mekanizma çeşidi

Robot mekanik tasarımları için 2 tane geleneksel kategori vardır: seri halde olan ve paralel olan tasarımlar. Seri bağlantılar en yaygın türdür ve modern yapıdaki masa lambasının kolları gibi seri olarak bağlanan halkalar tarafından oluşturulur. Paralel bir bağlantı, paralel yapıdaki ve ortak bir noktada buluşan birçok halka içerir. Serbestliğin 1 derecesine basit bir örnek, makas krikosudur. Bu kriko, bir arabayı 1 istikamette kaldırmasını sağlayan 2 tane paralel bağlantı içerir. İki kategori arasındaki temel fark: seri bağlantılar geniş bir masanın herhangi bir yerinde bulunan lambayı hareket ettirmek için gerekli olan daha geniş bir çalışma alanına sahipken, paralel bağlantılar her bir eklemi destekleyen birçok bağlantıya sahip olduğu için ve

araba gibi ağır bir yükü taşıyacağı için daha serttir. Ayrıca artan sertlik oranı işlemin doğruluğunu garantiler.

2.3.4. Atalet ve sertlik

Atalet ve sertlik, materyal özelliklere bağlıdır. Bir robotun ataleti boyutuna ve malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır. Yüksek orandaki atalet, robotun yavaşlamasına neden olur çünkü geniş bir kütlenin (ya da fiyatı yükselten daha geniş ve daha güçlü motorlar gerekir) hızını arttırmak ya da düşürmek zordur. Ayrıca daha büyük atalet, güvenliği de daha tehlikeli hale getirir çünkü robot hareket ederken kinetik enerji kazanacaktır. Robotun sertliği, malzemenin ve kendi geometrisinin sertliğine bağlıdır. Eğer belirli bir pozisyon almaya çalışan robotun uç-denetleyicisine bir itme kuvveti uygulanırsa, robot sertliğine uygun şekilde tepki verecektir. Robot ne kadar sert olursa o kadar az çatlak görülür ayrıca kontrolü ve doğruluğu sağlamak da o kadar kolaylaşır. Fakat robotun itaatkarlığı azalacağı için, yüksek düzeydeki sertlik güvenlik problemi yaratır.

2.3.5. Hız, güç ve geri hareket edebilme

Her robot algılayıcılarından ve uç denetleyicisinden güç sağlamak için bir transmisyon sistemine sahiptir. Transmisyon, uç-denetleyicisinde küçük bir hareket oluşturmak için motorun 50 devrini sağlayabilir. Hızın azaltılması gücün artmasına neden olur. Belirli uygulamalarda, güç ve hız arasındaki değişimin önemi unutulmamalıdır çünkü her ikisini de başarmak masraflıdır. Örneğin, kemik kırılması gibi yüksek oranda güç gerektiren bir görev sırasında robotun daha hızlı hareket etmesi beklenemez. Yüksek orandaki hız donanımının bir diğer etkisi de gücün azalması nedeniyle cerrahın uç-denetleyicisini eliyle sıkıca tutması ve geri hareket ettirmesi daha zor olur. Bu durum, bir kişinin arabayı itmesi ile aynı etkiyi yaratır. Geri hareket edebilme özelliği, robot güçsüzken cerrahın onu eliyle hareket ettirmek istediği durumlarda gereklidir.

2.3.6. Dinamik sıra

Belirli bir cerrahi operasyonda, kemik kırılması gibi bazı durumlarda yüksek oranda güç gerekebilir. Aynı yöntemde dikiş atma gibi küçük ve iyi ayarlanmış bir çözülme gerektiren işler de olabilir. Bu en yüksek ve en düşük seviyedeki güç kullanımı arasındaki oran, güç dinamik sırası olarak bilinir. Bu tanımı önceden bilmek gerekir çünkü bir robotu, insanlarınkine benzer şekilde yüksek dinamik sıra ile tasarlamak zor olabilir.

2.3.7. Yer kontrolü ve güç kontrolü

Güç kontrolü ve yer kontrolü, robotiklerin dünyasında önemli terimlerdir. Bu nedenle dikkat gerektirirler. Yer kontrolünde robot, alan içerisinde istenilen yörüngede hareket etmeye çalışır. Diğer taraftan güç kontrolü, robot bazı alanlarla temas halinde olduğunda kullanılır çünkü bu yüzeydeki gücün kontrol edilmesi önemlidir. Kemik kırma işlemini gerçekleştiren bir robot, yer kontrolüne uygun olarak düzgün bir kesme işlemini yerine getirmek için bir güç kontrol şeması kullanabilir. Cerrah bunun gibi hibrit (karma) bir yaklaşımı gerçekleştirir. Örneğin, cerrah bir bıçağı yerleştirirken ve dokuyu 3mm derinliğine kadar keserken dikkatlidir. Fakat Eğer cerrah yüksek oranda bir güç kullanımı hissederse, hedeflediği 3mm'den vazgeçebilir ve onun yerine bazı yapılara zarar vermemek amacıyla gücü hafifletebilir.

2.3.8. Bant genişliği

Önemli bir kavram olan bant genişliği, onu ölçmek için yapılan bir deneyle en iyi şekilde anlaşılır. Eğer robota hızlıca ileri ve geri hareket etmesi için bir girdi sinyali verilirse robot bu komuta uyup istenen oranda hareket edecektir. Girdi frekansı arttırıldığında, robot sertlik ve ataletindeki kısıtlamalar (örneğin: robot çok ağır ve yumuşaktır ve bu nedenle komutu yerine getiremez) nedeniyle işlemini yerine getiremeyecektir. Bu kısıtlayıcı frekans, bant genişliği olarak bilinir. Uzaktan kumanda edilen sistemlerde bant genişliği çok önemlidir. Cerrahın elleri hızla

hareket ettiğinde, robotun bant genişliği cerrahın hareket frekansından yüksek olmalıdır, aksi takdirde robot işlemi istenilen şekilde yerine getiremez. Hareketin bant genişliğinden (örneğin: Komuta edilen yeri ne kadar hızla takip edebiliyoruz) ve güç kontrolündeki bant genişliğinden (örneğin: robot komuta edilen güçleri ne kadar hızla yerine getirebiliyor ya da karışıklıklara ne kadar uyum sağlayabiliyor) daha kesin bir şekilde söz edilebilir.

3. DAVINCI AMELİYAT ROBOTUNUN PARÇALARI VE ÇALIŞMASI

Bu bölümde daVinci ameliyat robotunun tüm parçaları ve robotun çalışması anlatılmaktadır.

3.1. daVinci Sistemine Giriş

daVinci sistemi toroskopik ve laparoskopik cerrahi işlemler sırasında endoskopik enstrümanları kontrol etmek için, ameliyathane içerisinde profesyoneller tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

daVinci sistemi üç ana bileşen içerir:

1- İki tane kontrol kolu (master controls) ve 3 boyutlu stereo görüntüleyici içeren "Ana Ünite" (surgeon console)
2- Kamera kolu ve iki ya da üç tane enstrüman kolunu içeren "Bağımlı Ünite" (surgical cart)
3- Kamera ve görüntüleme işlemlerinde kullanılan teçhizatı barındıran "Görüntüleme Ünitesi" (vision cart)



Resim 3.1. Soldan sağa, ana ünite, görüntüleme ünitesi, bağımlı ünite

Cerrah, operasyon alanının büyütülmüş 3 boyutlu görüntüsünün altına yerleştirilmiş iki tane kontrol kolunu kullanarak ana ünitenin sandalyesinde oturarak ameliyatı

gerçekleştirir. Cerrah, 3 boyutlu stereo görüntüleyicideki görüntüyü görebilmek için başını kafa algılayıcılarının arasına (ana ünitede görüntünün oluştuğu yerin karşılıklı iki tarafında bulunan sensörler) yerleştirir. Görüntüleyicide görüntülenen enstrüman uçları kontrol kollarıyla aynı hizadadır. Böylelikle el-göz oryantasyonu ve açık ameliyatlardaki doğal operasyon hissi (geribildirimler vs.) cerrah için korunur.

daVinci sistemi cerrahın enstrüman hareketlerini gerçek zamanlı kontrol edebileceği şekilde yerleştirilir. daVinci sistemi cerrahın ana ünitede kullandığı açık cerrahi teknikleri kinematik yapının (veya eklem hareketleri) izin verdiği kadarıyla gerçekleştirir. Bu açık cerrahideki teknikler bağımlı ünitede anında küçük cerrahi girişim hareketlerine (MIS) çevrilir. da Vinci sistemini kullanmak, cerrahların açık cerrahideki içgüdüsel hareketler, beceriler olmadan doğrudan küçük ensizyon yapabilmesini sağlar.

daVinci sisteminin elektroniği cerrah el hareketlerinin ölçekli hareketler olmasını sağlar. Hareket ölçeklendirme el hareketlerini uygun bir şekilde bağımlı ünitedeki enstrüman uçlarının hareketlerine çevirir. Bazı ayarlar cerrahların farklı klinik uygulamalar için ölçeklendirmeyi değiştirebilmesini sağlar. Bu ayarlar cerrahın el titremesinin, kararlılık ve tahmin edilebilir enstrüman kontrolünü bozmaması için yardımcı olur.

Enstrümanlar (ya da eklem uçları) toplamda yedi serbestlik derecesine sahiptir. Eklem uçları insan el bileğinin tüm hareketlerini taklit eder. Bu eklemler cerrahın MIS kapasitesini yeni bir seviyeye ulaştırır; karmaşık cerrahiyi kolaylaştırır ve küçük ensizyonları tekrar tekrar yapabilir.

3.1.1. Ana ünitenin incelenmesi

Cerrah ameliyatı gerçekleştirmek için ana ünitede oturur. Ana ünite steril alanın dışına yerleştirilir. Yüksek çözünürlüklü 3 boyutlu görüntüleyici sistemi ana konsola dürbün (stereo görüntüleyici) yardımıyla görüntülemek üzere entegre edilmiştir.

Kontrol Kolları (Masters)

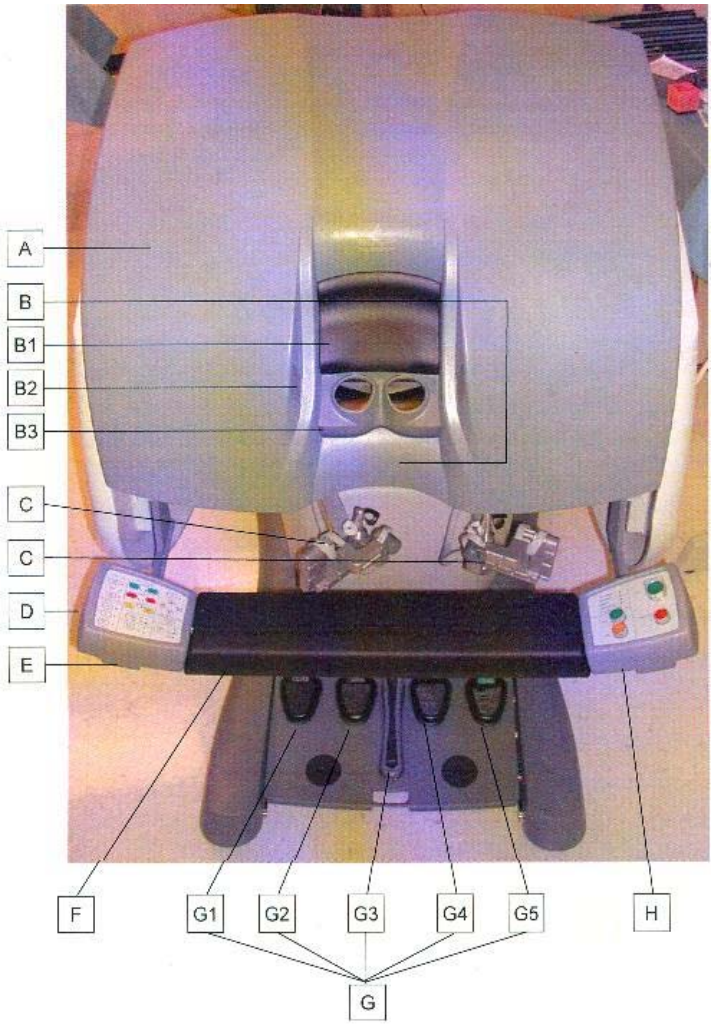
Cerrah kontrol kollarının tutamaklarını bağımlı ünitede kollara bağlanmış cerrahi enstrümanları ve endoskopik kamerayı kontrol etmek için tutar. Kontrol kolunun hareket dizisi cerrahın el hareketlerini tam ve doğal olarak yapabilmesini mümkün kılar. Kontrol kolları cerrahın hareketlerini tam olarak bağımlı ünitenin kollarının yapacağı hareketlere dönüştürür.

Üç Boyutlu Görüntüleme Sistemi ve Stereo Görüntüleyici

İki tane birbirinden bağımsız optik kanallarda CRT monitörlerde görüntülenen cerrahi alanın 3 boyutlu görüntüsü birleştirilmiştir. Da Vinci sistemi durum mesajlarını (metinler ve ikonlar) doğrudan stereo görüntüleyiciyi kullanarak iletir.

Kontroller ve Göstergeler

Cerrah ve asistan kritik da Vinci sistem fonksiyonlarını direkt butonlar ve ayak anahtarlarıyla yönetirler. daVinci sistem fonksiyonları operasyon alanında değil, dirseklik yanlarına yerleştirilmiş butonlar sayesinde kullanır. Cerrahın ihtiyaç duyacağı fonksiyonların bir kısmı da ana ünitenin alt kısmına yerleştirilmiş pedallarla (ayak anahtarları) yönetilir. Güç, acil durdurma, bekleme ve hazır butonları cerrahın her zaman rahatça ulaşabileceği şekilde dirsekliğin yanlarına yerleştirilmiştir.



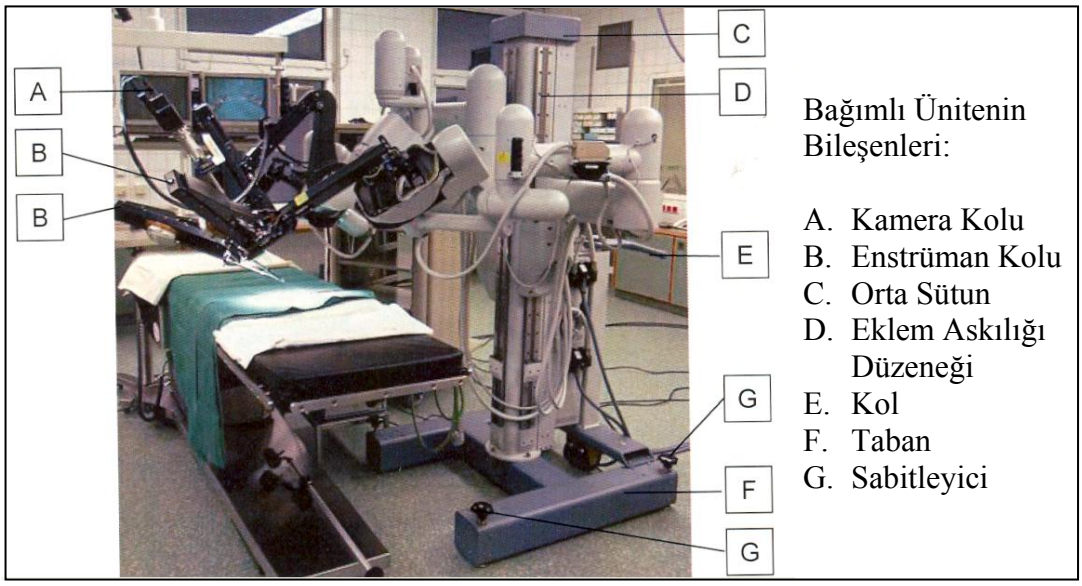
Ana Ünitenin Bileşenleri:

A. Ana Ünitenin Dışı
B. Görüntü Portu
   B1. Baş Dayanağı
   B2. Infrared Sensör
   B3. Stereo Görüntüleyici (dürbün)
C. Kontrol Kolları
D. Görüntüleyici Yükseklik Kontrolleri
E. Kullanıcı Arayüz Paneli
F. Dirseklik
G. Pedallar
   G1. Pedal (debriyaj)
   G2. Kamera Kontrol
   G3. Kamera Büyütme / Küçültme
   G4. Kullanılmıyor
   G5. COAG
H. Kullanıcı Düğme Paneli

Resim 3.2. Ana ünite

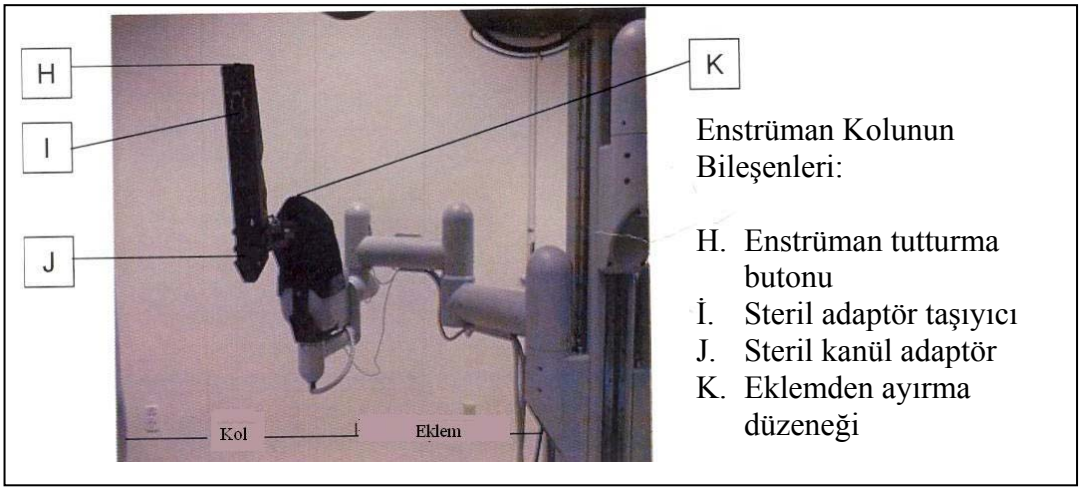
3.1.2. Bağımlı ünitenin incelenmesi

Bağımlı ünite, kamera ve enstrüman kollarının bağlandığı bir sütun ve taban içerir. Bu ünite kablolarla ana üniteye bağlanmıştır. Cerrah ana ünitedeki kontrol kollarını hareket ettirdiği zaman bağımlı ünitedeki kollar cerrahın hareketlerini taklit eder. Her bağımlı ünite bir adet kamera kolu içerir. Aynı zamanda iki veya daha fazla enstrüman koluna sahiptir.



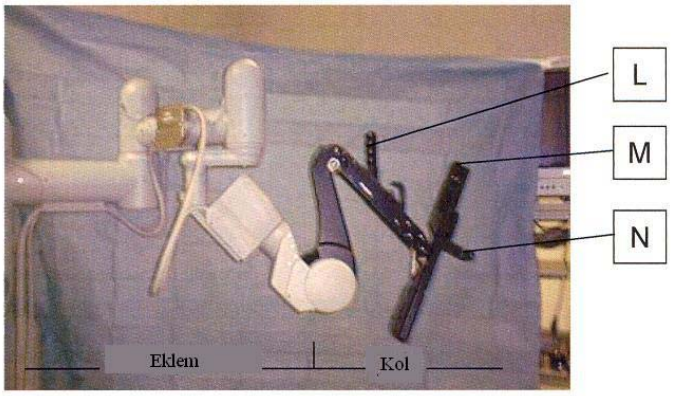
Resim 3.3. Bağımlı ünitenin yandan görünüşü

Her kol orta sütuna eklem düzeneğiyle eklenir. Eklem düzeneği, kolu ameliyat boyunca en iyi pozisyonda tutmak için kullanılır. Kol, eklenmiş enstrümanları ve emniyetli kanülü yerleştirebilmek için bir taşıyıcı içerir.



Resim 3.4. Enstrüman kolu

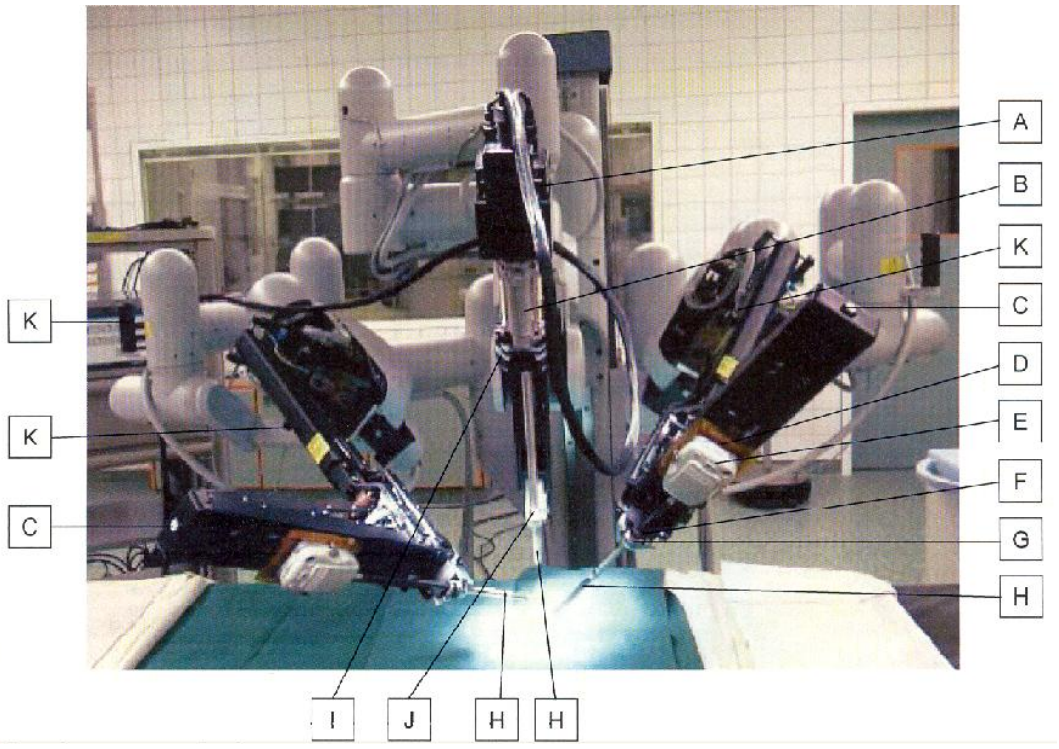
Kamera kolu da, diğer kollara benzer şekilde bir eklem düzeneğine sahiptir. Kamera koluna kamera/endoskop ve kameranın eklendiği bir kanül monte edilmiştir.



Kamera Kolunun Bileşenleri:

L. Eklemden ayırma düzeneği
M. Kamera Tutturma Butonu
N. Kamera Steril Adaptör Tutucu

Resim 3.5. Kamera kolu

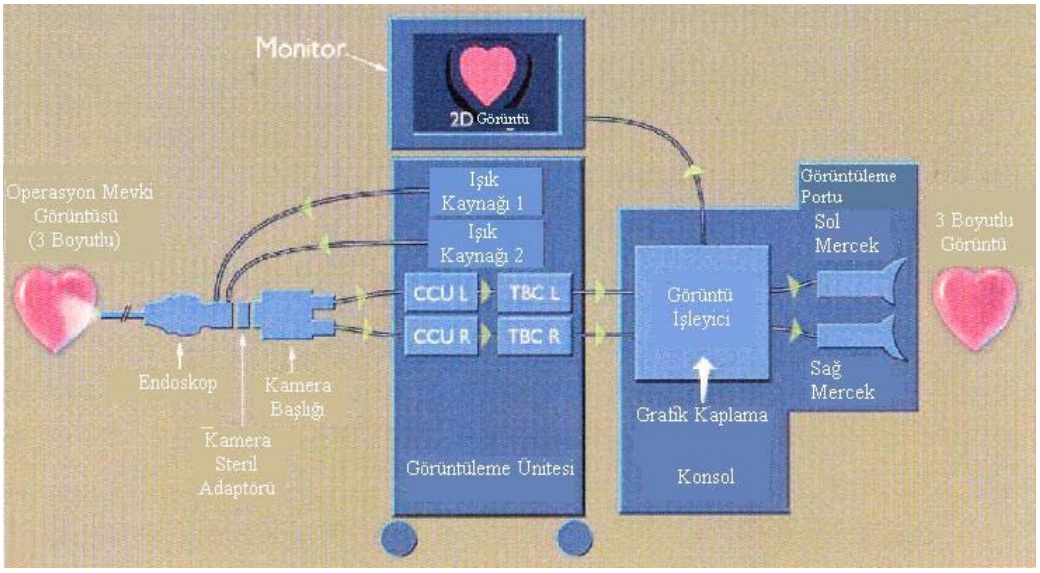


A. Kamera Başı (kamera koluna eklenmiş)
B. Endoskop
C. Enstrüman kolu tutturma butonu
D. Enstrüman kolu steril adaptörü
E. Intiutive Surgical enstrümanı
F. Enstrüman kolu kanül tutucu
G. Enstrüman kolu kanülü
H. Kontrol merkezi
İ. Kamera kolu steril adaptörü
J. Kamera kolu kanül tutucu
K. Eklemden ayırma düzeneği

Resim 3.6. Bağımlı ünite bileşenleri

3.1.3. Görüntüleme ünitesinin incelenmesi

InSite görüntüleme sistemi cerrahi bölgenin yüksek kaliteli üç boyutlu görüntüsünü sağlar. InSite görüntüleme sistemi endoskoplar, kamera başlıkları ve içinde çeşitli görüntü işleme ve geliştirme donanımı barındıran bir görüntü ünitesi içerir. Cerraha yönelik görüntü ana ünitededir. Yardımcı için görüntü ya görüntü ünitesi üzerinde veya kullanıcı tarafından belirtilen başka bir yede görülür. Sistemin grafik bir temsili Resim1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Görüntüleme ünitesi bileşenleri

3.2. daVinci Bileşenlerini Anlamak

Bu bölüm boyunca ana ünite, bağımlı ünite ve enstrüman bilgileri anlatılmaktadır.

3.2.1. Ana ünite

Cerrah, işlem yapabilmek için konsolda oturur, bağımlı ünitedeki kollara tutturulmuş olan endoskopik kamerayı ve cerrahi aygıtları kontrol etmek için kontrol kollarını tutar. Cerrahi alan, cerrahi alanın canlı 3 boyutlu resmini oluşturmak için birleştirilmiş birbirinden bağımsız iki optik kanalı kullanan, stereo görüntüleyici ile

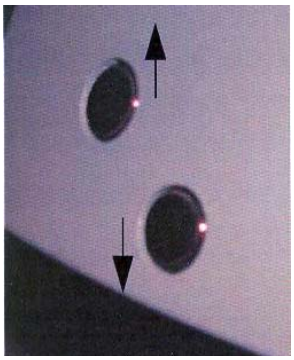
izlenir. daVinci sistemi, yazıları ve ikonları kullanarak stereo izleyicisi ile durum mesajlarını iletir.

Kontroller ve Göstergeler

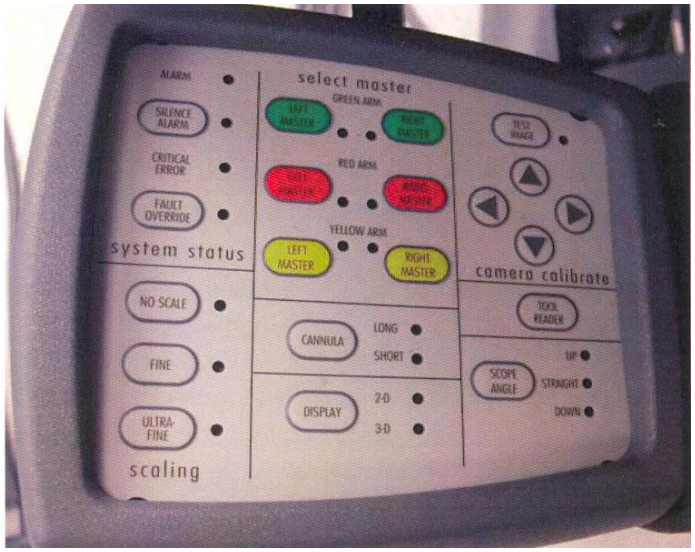
Cerrah ve asistanı, düğmeleri ve ayak anahtarlarını kullanarak kritik da Vinci sistem fonksiyonlarını çalıştırırlar. Prosedür sırasında kullanılan fakat asıl işlem sırasında kullanılmayan da Vinci sistem fonksiyonları, dirseklikte bulunmaktadırlar. Cerrahın, işlem sırasında ulaşması gerektiği fonksiyonlar konsol ayak anahtarlarında bulunmaktadır. Güç, Acil Durdurma, Uyku Modu ve Hazır tuşları dirseklikte bulunmaktadır ve bu tuşlar her zaman cerrah için kullanıma hazır durumdadır.

Kullanıcı Arayüz Paneli (User Interface Panel - UIP) ve Kullanıcı Düğme Paneli (User Switch Panel - USP)

Resim 3.8'de Kullanıcı Arayüz Paneli ve Resim 3.9'da Kullanıcı Düğme Paneli fonksiyon şekilleri gösterilmektedir.



Resim 3.7. Kullanıcı arayüz panelinin sol tarafında bulunan yükseklik ayarlama düğmeleri



Resim 3.8. Kullanıcı arayüz paneli



Resim 3.9. Kullanıcı düğme paneli

Kullanıcı Düğme Paneli - Mod Kontrolü

Kullanıcı düğme paneli da Vinci sisteminin operasyon modlarını kontrol etmekte kullanılan düğmeleri içerir. Aşağıdaki bölümler her fonksiyonu ayrı ayrı açıklamaktadır.

Sistem (açık/kapalı)

Bu düğme da Vinci sistemini açmaya ve kapamaya yarar. Bu düğmeyle kontrol edilen 3 durum vardır:

1- Açık
2- Kapatma işlemleri
3- Kapalı

Sistem düğmesine basıldığında da Vinci sisteminin açık olduğunu belirtmek amacıyla bu düğme yeşil yanar. Bu sistem ya hazır modunda (yeşil ışıklı düğme) ya da bekleme modunda (sarı ışıklı düğme) uygun mod düğmesindeki ışıkla belirtildiği gibi açıktır.

daVinci sistemini kapatmak için sistem düğmesine (kapalı için aşağı durumu) basılır ve kapatma işlemleri başlatılır. Kapatma sırasında sistem kapanmadan önce 10 saniyelik bir geri sayım vardır. Bu zaman sırasında sistem otomatik olarak bekleme moduna geçer. Bu 10 saniyelik pencere kullanıcının yanlışlıkla düğmeyi aktive etmesinden kurtulmasını sağlar. Tekrar sistemi başlatmak için 10 sn geçmeden sistem düğmesine (açık durumu için yukarı pozisyonu) tekrar basılır.

10 saniyelik geri sayım sırasında yeşil ışık yanık kalır. Eğer geri sayım sırasında sistem tekrar aktif edilmezse da Vinci sistemi kapanacaktır.

Acil durdurma

Bu düğme bağımlı ünitede bulunan aletlerden ve operatör konsolundaki ana üniteden gücü keser. Acil durdurma gösterge ışığı bu düğme basıldığında yanar. Acil durdurmadan çıkmak için (kullanıcı arayüz panelindeki) hatayı görmezden gelme düğmesine basılır.

Alet kolları ve kamera kolu, vücut duvarı, yer çekimi ve/veya diğer kuvvetlerden dolayı acil durdurma düğmesine bastıktan sonra daha yavaş hareket edebilir. Eğer da Vinci ultrasonik kesicileri acil durdurma veya hata durumunda bir alet kolunda ise alet kolu istenmedik hareketleri önlemek için hemen sabitlenmelidir. Bu alet diğer aletlere göre yer çekimi veya diğer dış kuvvetlerden dolayı daha hızlı hareket edebilir. Uçların dokuyla istenmeyen temaslarını engellemek için alet hemen çıkarılmalıdır. Eğer alet acil durdurma anında herhangi bir nesne tutuyorsa kullanıcı alet uçlarını tutucuyu açarak tutulan nesneyi bırakması sağlamalıdır.

Bekleme konumu

Bu düğme, bağımlı ünite üzerindeki alet kolları ve kamera kolunun operatör konsolundaki ana üniteden ayrılmasıyla da Vinci sisteminin bekleme moduna girmesini sağlar. Ana ünite, alet kolları ve kamera kolu da Vinci sistemi bekleme modunda olduğunda hali hazırdaki pozisyonlarını koruyacaklardır. da Vinci sistemi, bekleme modunda operatör, kafasını gözlem kısmına yerleştirdiğinde kolları otomatik olarak aktive etmez.

daVinci sistemi operatör aktif olarak sistemle ameliyat yapmadığı her anda bekleme moduna geçirilmelidir.

Hazır modu

Bu düğmeye basmak daVinci sistemini hazır moduna geçirir. Aletlerin yerleştirilmiş olması, kameranın seçilmesi ve gözlem portundaki kafa algılayıcısının aktive edilmesi ve ana ünitedeki tutamakların alet uçlarına denk gelmesi ile hazır modu, operasyon arabasındaki kolların ana ünitenin hareketini takip etmesini sağlar. Kafa algılayıcısı operatörün kafasının varlığını algılar. Eğer kafa algılayıcısı aktive edilmemişse hazır düğmesi basılmış olsa dahi cerrahi kollar harekete geçirilmez. Eğer cerrah bir dakikadan fazla süreyle yerinde bulunmazsa daVinci sistemi hazır moddan bekleme moduna geçiş yapar.

daVinci sistemi cerrah konsolda oturuyor ve operasyon yapmaya hazır değilse hiçbir zaman hazır moduna geçilmemelidir. Hazır modundayken gözlem portundaki infraled sinyalin kesilmesi alet kollarını harekete geçirir. Eğer ana ünite ve aletler birbirine denk gelen tutuş açılarına sahipse ana üniteye etki eden kuvvetler alet kollarında buna karşı gelen hareketlerle sonuçlanacaktır.

Kullanıcı Düğme Paneli - Durum Göstergeleri

Kullanıcı düğme panelinin sol üst bölgesindeki göstergeler sadece daVinci sisteminin durumunu belirtir.

Başlangıç işlemleri

Yeşil başlangıç işlemleri ışığı sistem düğmesi ilk basıldığında ve daVinci sistemi başlangıç işlemlerini gerçekleştirdiğinde yanar.

Servis gerekiyor

Bu sarı ışık içsel daVinci sistem tanı koyucularını bir İntuitive Surgical firması temsilcisi tarafından servise ihtiyaç duyulduğunu belirlemesi durumunda yanar. da Vinci sistemi ameliyatın bitmesine izin verir ancak yeni ameliyatlar başlatılmamalıdır.

Güç kaybı

Sarı ışık alternatif akım güç kaybı oluştuğunda yanar. daVinci sistemi tamamen dolu bir aküyle güç kaybı durumunda kendini kapatmadan çalışabilir. Ancak AC güç kaybı sırasında 3 boyutlu görüntüleme sistemi yedek güç almaz. Akü, AC gücü tekrar kazanıldığında ameliyatın, da Vinci sisteminin tamamen tekrar çalıştırılmasına gereksinim duyulmadan devam ettirilebilmesi için durum ve pozisyon bilgilerinin saklanması amaçlanmaktadır.

Kamera sinyali kaybı

Sarı bir ışık, da Vinci sisteminin optik bileşenlerdeki veya işlem ekipmanındaki bir hata dolayısıyla kamera görüntüsünün kaybolması sonucunda yanar.

Kullanıcı Arayüz Paneli – Kontroller ve Göstergeler

Bu bölüm kullanıcı ara yüz panelinin düğme ve kontrollerini tanımlar. Panelin her bölümü aşağıda açıklanmıştır.

Sistem durumu

Alarm: Göstergedir. Bu ışık da Vinci sistem alarmı çalıştığında yanar. Alarmlar kritik hata veya hata görmezden gelme düğmesiyle düzeltilebilen hataları belirtebilir.

Sessizlik Alarmı: Gösterge ve kontrol birimidir. Belirli bazı hata durumları için bu düğmeye basmak duyulabilir alarmın iki dakikalığına susmasını sağlar.

Kritik hata: Göstergedir. Operasyonun devam etmesine izin vermeyecek bir da Vinci sistem hatası oluştuğunda yanar. Eğer bu ışık yanarsa da Vinci sistemi normal operasyona devam etmek için kapatılmalı ve tekrar açılmalıdır.

Hata görmezden gelme: Bu fonksiyon daha önceki bir kurtarılabilir hatayı siler ve da Vinci sistem işlevinin devam etmesine izin verir. Eğer hataya sebep veren durumun devamı söz konusuysa bu da Vinci sistemini tekrar durduracaktır.

Ölçek ayarı

Bu kontrolü hareket ölçeğini ana ünitedeki bir hareketin alet ucundaki daha ufak bir harekete denk gelmesi şeklinde ayarlamak için kullanılır. Üç seçenek vardır: Normal, ince ve çok ince. İnce ayar konumu diğer ayarlara göre stereo görüntüleme

büyütmesine en yakın şekilde denk gelir. İnce ayar konumu da Vinci sisteminde fabrika ayarıdır.

Görüntüleme cihazı (endoskop) açısı

Bu düğme kullanıcının aşağıdaki endoskop tipleri arasında seçim yapmasını sağlar:



Şekil 3.2. Görüntüleme cihazı açı ayarı

Yukarı (Up): Kullanılan kamera başlığından bağımsız olarak açılı endoskopun yukarı bakma konumunda kullanılması istenildiği halde seçilir.

Düz (Straight): Kullanılan kamera başlığından bağımsız olarak düz endoskop kullanımı için seçilir.

Aşağı (Down): Kullanılan kamera başlığından bağımsız olarak aşağı bakan açılı endoskop kullanımı için seçilir.

Başlangıçta hiçbir kamera endoskop kombinasyonu seçili değildir ve karşılık gelen tüm ışıklar kapalıdır. Stereo görüntüleyici ve yardımcı görüntüleyicinin ortasında yanıp sönen bir kamera ikonu bir seçimin gerektiğini belirtmek için gösterilir. Endoskop açısı düğmesine basmak kullanıcının çeşitli endoskop seçenekleri arasında gidip gelmesini sağlar. Endoskop tipinin yanındaki ışıklar hali hazırdaki aktif seçimi kullanıcıya belirtir.



Şekil 3.3. Kullanıcı arayüz panelinde kamera/endoskop seçimi göstergesi

Eğer endoskop seçimi, takılmış endoskoba denk gelmiyorsa ana ünitedeki kolları hareket ettirmek görüntüleme cihazında sezgisel olmayan bir hareketin görülmesi olasıdır.

Görüntüleme

Görüntüleme düğmesine basmak stereo görüntüleme cihazında 3 boyutlu ve 2 boyutlu görüntü arasında seçim yapar. Seçilmiş modun yanındaki led yapılmış olan seçimi belirtmek için yanacaktır.

Cannula (kanül)

da Vinci sistemi iki farklı alet kolu kanül uzunluğuyla çalışabilir; kısa (100mm) ve uzun (150mm).



Şekil 3.4. Kanül seçimi

Kanül uzunluğunu seçmek için kullanıcı arayüz panelindeki kanül tuşuna basılır. Bu düğmeye basmak belirtilen kanül uzunluklarındaki yanındaki ledin yanmasını ve kullanıcının ikisi arasında seçim yapmasını sağlar. Eğer kanül uzunluğu kullanıcı tarafından seçilmezse seçim fabrika ayarı olan kısaya döner. Ayrıca aynı kanül uzunluğu ayarı tüm alet kolları için geçerlidir.

Kullanıcı arayüz panelindeki seçili kanülün uzunluğu bağımlı ünitedeki enstrüman kollarında kullanılan kanül uzunluğuna kesinlikle denk gelmelidir. Bunun yapılmaması alette zarara veya doğru çalışmamaya sebebiyet verebileceği gibi hastada zarara da sebebiyet verebilir.

Tüm alet kollarında sadece aynı kanül boyu kullanılmalıdır. Uzun bir aletle kısa bir kanül kullanmak ve uzun kanül ayarını seçmek hastada hasara sebep olabilir. Kısa bir enstrümanla uzun bir kanül kullanımı alette hasara veya doğru çalışmama durumuna sebep olabilir. Farklı kollarda farklı boy kanül kullanımı alette hasara veya çalışmama durumuna sebep olabilir.

Kamera ayarı

Deneme görüntüsü (Test Image): InSite Görüntü Sistem performansını optimize etmek amacıyla da Vinci sistemini kalibrasyon moduna geçirir. Parametreleri kaybetmeden bu moddan çıkmak için hızlıca tekrar deneme görüntüsü düğmesine basılmalıdır.



Şekil 3.5. Test image (deneme görüntüsü) düğmesi

Test Image düğmesini 3 saniye boyunca basılı tutmak seçili endoskobun kalibrasyon parametrelerini kaydedip kamera kalibrasyon modundan çıkmayı sağlar. Test Image düğmesini 10 saniye basılı tutmak fabrika ayarlarını geri getirir.

Kamera kalibrasyon modundayken dört ok düğmesi endoskop hizalama aletiyle görüntüyü hizalamakta kullanılır.

Sistem kamera kalibrasyon modundayken endoskop açısı değerlerindeki değişikliklere kalibrasyon değerleri kaydedilene kadar izin verilmeyecektir.

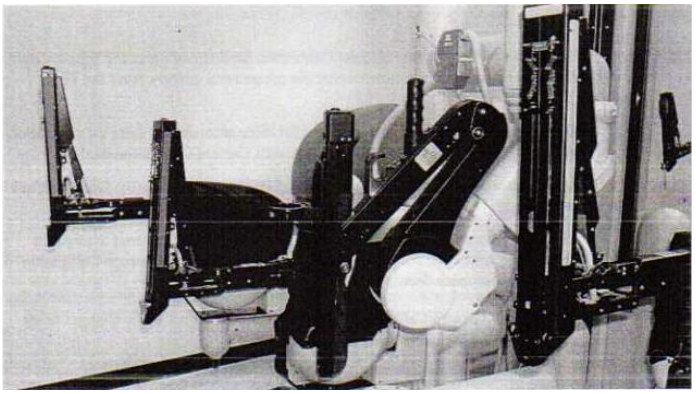
Kontrol kolu seçimi

Kontrol kolu seçimi düğmeleri sadece yardımcı enstrüman kolu denilen üçüncü opsiyonel enstrüman koluyla kurulmuş bağımlı ünitelerde kullanılır. Cerrah sistemi yardımcı kolu kullanmak üzere ameliyattan önce veya gerektiğinde ameliyat sırasında ayarlayabilir.



Şekil 3.6. Alet kollarını seçmek için ve sol veya sağ kontrol kolunu ayarlamak için kullanılan düğmeler

Cerrah herhangi bir enstrüman kolunu sol veya sağ kontrol koluna bağlayabilir veya geçici olarak yardımcı kola geçişi iptal etmeyi seçebilir. Eğer yardımcı kola geçiş kapatılmışsa doku tutmak için hala aktif kalır. Fabrika ayarları uyarınca yeşil alet kolu sol kontrol koluna, kırmızı ve sarı alet kolları sağ kontrol koluna atanmıştır. Bu atamalar sol veya sağ kontrol kolu düğmelerinin yanında yanan ledlerle belirtilir. Yanmayan ledli bir alet kolu da aktif sayılamaz ve değiştirilemez. Hastaya tüm kanül girişlerinin uygulanmasından önce veya sonra cerrah her alet kolunu sol veya sağ kontrol koluna bağlayabilir. Alet kolları aşağıda gösterilen şekilde olduğu gibi kolayca tanınması amacıyla yeşil kırmızı ve sarı olarak renklendirilmiştir.



Resim 3.10. Renk kodlu alet kolları ile bağımlı ünitenin yandan görünümü

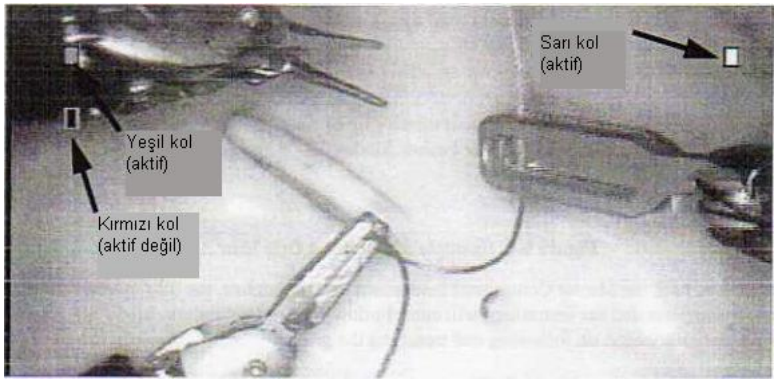
Hastaya kanül yerleşimi genelde kol seçim konfigürasyonunu belirler. Kameranın solundaki kanüllere bağlanmış alet kolları sol kontrol koluna atanmak üzere seçilir ve kameranın sağındakilerde sağ kontrol koluna atanmak üzere seçilir. Kameranın hemen üst veya altındaki alet kolu kanülü herhangi bir kontrol koluna bağlanabilir. Eğer yardımcı kol yoksa sistem yazılımı kontrol kolu seçimini iptal eder. Ayrıca her kontrol kolu en az bir kola atanmalıdır. Sistem bir kola atanmamış bir kontrol kolunun olduğu bir konfigürasyona izin vermeyecektir.

Yardımcı Bir Alet Kolunu İptal Etme

Eğer yardımcı bir enstrüman kolu (PSM) sisteme kurulmuşsa fakat sadece iki PSM'nin kullanımı ameliyat için isteniyorsa üçüncü PSM iptal edilebilir. Bir kolun iptali için sadece sol veya sağ kontrol kolu düğmesine hiçbir led yanmayana kadar basılır. Gösterge kullanımdan çıkarılmış kolun bir kurulum eklemi veya yakalama cihazının her aktivitesini gösterir fakat göstergede kullanımdan çıkarılmış kola takılmış hiçbir alet ikonuyla temsil edilmeyecektir. Ayrıca kullanımdan çıkarılmış kol takip moduna sokulamaz.

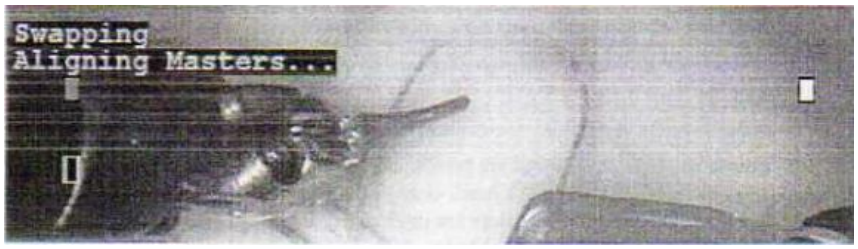
Yardımcı Kol Bilgilerini Görüntüleme

Tüm alet kollarının durumlarını göstermek için ufak renkli ikonlar kullanılır. Resim 6.4'te gösterildiği gibi göstergedeki renkli ikonlar renkli alet kollarıyla bağlantılıdır.



Resim 3.11. Enstrüman kol ikonlarına örnek

Renkli alet kolları kullanıcı arayüz panelinde verili bir kontrol kolu (sol veya sağ) tarafından kontrol edilmek üzere seçilmiş olmalıdır. Düz renkli ikonlar karşılık gelen alet kollarının bir kontrol koluyla aktif olarak bağlanmış olduğunu belirtir (Resim 3.11'de yeşil ve sarı), içi boş renkli bir ikon ise karşılık gelen alet kolunun o an aktif olmadığını belirtir (bu örnekte kırmızı). Yardımcı kol bir pedal basmasıyla aktive veya deaktive edilir.



Resim 3.12. Alet kolu değişimini belirten iletisine örnek

Örnek olarak eğer yardımcı kol sol kontrol kolu tarafından kontrol edilmek üzere ayarlanmışsa pedala kısaca basmak cerrahın iki enstrüman kolu arasında geçiş yapmasını sağlar. (Resim 3.12'de gösterildiği gibi yeşil ve kırmızı) Bu örnekte sağ kontrol kolu daima sarı alet kolunu kontrolünde tutacaktır (sarı ikon). Aktif olarak bağlanmış ikon görüntüde daima hazırdır.

Değişim sonrasında takip etme modunu belirten aktivite görüntünün orta üst bölgesinde ilgili PSM blok ikonunun takip modu ikonlarının yanında görünmesi ile

ortaya çıkar. Yardımcı kol değişiminin yapıldığı her seferde cerrah ana ünitedeki kapatma derecesinin veya açısının denk gelen aletin çenesindeki kapanma derecesi veya açıya denk gelmesini sağlamalıdır.

Hemen değişimden sonra kapanma derecesi ya da açısı denk gelse bile, cerrah hala bir çeşit kasıtlı hareket yapmak zorundadır (sapı açma veya kapama, ya da çok hafif aygıtı hareket ettirme gibi).



Şekil 3.7. Açılıp kapanan enstrüman uçları (Kontrol kolları bir sonraki moda geçmek için uygun aygıtların tutturucuları ile denk gelmek zorundadır)

Hem kontrol kolu hem de aygıt tutucusu denk geldiğinde, ekranda düzenlemenin bittiği gösterilir ve aygıt takip moduna girer.

Eğer "Kontrol Kolunu Hizala" mesajı görünürse, kontrol kolu sistem hesaplayana veya yuvarlama yapana kadar sağa ya da sola döndürülmelidir.

Araç Okuyucusu

Araç okuyucusu butonu sadece sistem uyku modunda iken kullanılır. Bu buton kullanıcıya aygıt içerisindeki geri kalan kullanım sayısını doğrulaması için kullanılır. Uyku modunda iken, araç okuyucusu butonuna basılıp, aygıt steril adaptöre yerleştirilir. Sistem, cihaz izleyicisinin ve ekran asistanının geri kalan kullanım sayısını gösterecektir. Tekrar Araç Okuyucusu butonuna basıldığında çıkış gerçekleşir.

Ana Ünitedeki Diğer Kontroller

Baş Sensörü (Kafa Algılayıcısı)

Ana ünitede görüntü portunun her iki tarafına yerleştirilmiş iki tane sensör bulunmaktadır. Bu sensörler ya cerrahın kafasının konumunu ya da ışık geçirmez diğer objeleri algılamakta kullanılır. Sensörler arasındaki iletişim kesildiğinde (araya cisim girdiğinde), eğer da Vinci sistemi hazır konumundaysa kontrol kolları hemen aktif edilirler.

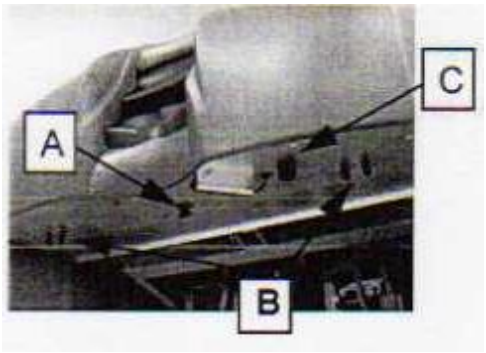
İstenmeyen aygıt ya da kamera kollarının harekelerinden kaçınmak için, baş sensörü aktif hale getirilmeden, kontrol kolları "hands on" konumuna getirilmelidir. Takip modu, kolların diğer hareketlerini kontrol etmek için, cerrahın kontrolleri kullanarak aygıt uçlarını denk getirmesini ister.

Görüntüleyici Yüksekliği

Bu tuşlar stereo görüntüleyicisinin yüksekliğini aşağı ve yukarı ayarlamasında kullanılır. Stereo görüntüleyicisi tuş bırakılana kadar ya da limit en yüksek/alçak seviyeye ulaşana kadar hareket etmeye devam eder.

Dürbün İçindeki Görüntü Alanını Hesaplama

Dürbün içindeki görüntü alanı hesaplama ayar düğmesi stereo görüntüleme aygıtının altında bulunmaktadır ve 3 boyutlu işlenen resmin birleşmesini uygun hale getirmek için kullanılır. Resmin sağ/sol alan ayarlamasını yaparak, cerrahın gözlerinden mesafeyi denkleştirir.



Ana Ünitedeki stereo görüntüleyicinin ayar düğmeleri

A. Dürbün içindeki görüntü alan ayarlayıcısı
B. Stereo görüntüleyici için parlaklık ve kontrast düğmeleri
C. Telefon sistemi ses düğmesi

Resim 3.13. Stereo görüntü ayarlama düğmelerinin konumu

Telefon Sistemi Ses Düğmesi Ayarı

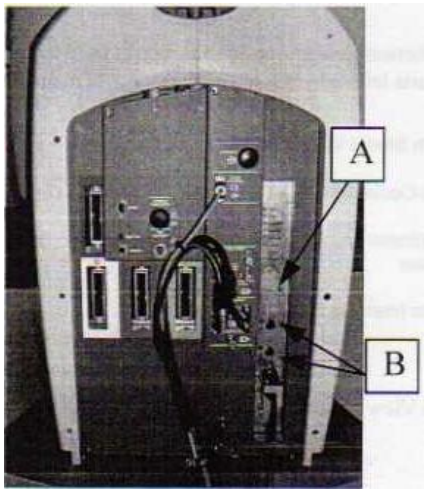
Resim 3.13'te görüldüğü gibi telefon ses sistemi (AIS) için cerrahın ses kontrolü, stereo izleyicisinin altında bulunmaktadır.

Parlaklık ve Kontrast Ayarları

İki tane parlaklık/kontrast ayar düğmesi bulunmaktadır, bir tanesi optik kanallar içindir. Bunlar sağ ve sol tarafta olup, stereo görüntüleyici altında bulunmaktadır. Düğmeye basıldığında, kullanıcı parlaklığı ve kontrastı ayarlayabilir. Düğmeden el çekildiğinde ise hazır fabrika ayarları yüklenir. Parlaklık/kontrast düğmeleri istenmeyen ayarlamalar için kapatılmıştır.

Acil Güç Kapama (EPO)

EPO düğmesi, koruyucu kapağın altında, ana ünitenin arkasında ve ana devre kapatıcı anahtarlarının üstünde yer almaktadır. Güç kapama işlemleri, kullanıcı devre anahtarı paneli üzerindeki *sistem*(açma/kapama butonu) kullanılarak bitirilmelidir. Eğer da Vinci sistemi 20 dakika sonra *sistem* kullanılarak kapatılmaz ise, EPO anahtarına basılabilir. Acil kapamadan sonra, ana devre kapatıcıları AC düşük Led ışığı sönene kadar kapalı konumunda bırakılmalıdır. Bu yaklaşık 20 dakika alabilir. Bu noktadan sonra, ana devre kapatıcı anahtarları tekrardan açılabilir ve *sistem* kullanılarak da Vinci sistemi tekrardan başlatılır.



Ana ünitenin arka tarafı

A. Acil Kapama (EPO)
B. Ana Devre Kapatıcıları

Resim 3.14. Ana Ünite arka paneli

İkonlar

İkonlar stereo görüntüleyicinin tepesinde ve da Vinci sistem durum süresini gösteren yardım ekranında gözükmektedir. Ekrandaki ikonun durumu, etkilenmiş da Vinci sistem bileşeninin yerleşimiyle uygundur. Mesela, ekranın sağ üst köşesinde sağ araç kolu ile ilgi olan ikonları gösterirken aynı şekilde ekranın sol üst köşesinde de sol araç kolları ile ilgili olan ikonları göstermektedir. Sistemlerin değerlendirilmesi için yardımcı araç kolları, ayrılmış olan kontrol koluna bağlıdır ve bu kollara ait olan ikonlar ya ekranın sağ tarafında ya da sol tarafında gözükür. Sadece aygıt değiştirme ikonu için, Çizelge 3.1'de arka plan renklerinin gösterdiği farklı durumlar açıklamaktadır.

Çizelge 3.1. daVinci sistemi arka plan renklerinin anlamları

Renk	**Anlam**
Beyaz	Steril adaptör bulunmuyor ya da algılanmıyor
Mavi	Aygıt bulunmuyor; Steril adaptör bulunmuyor
Mavi rakamlarda yanıp sönen mavi	Aygıt meşgulde, geri kalan kullanım gösteriliyor

Çizelge 3.2. (Devam) daVinci sistemi arka plan renklerinin anlamları

Sarı “0” (sıfır) ile yanıp sönen mavi	Yordam bitirildikten sonra, aygıt süresi bitiyor
Sarı	Aygıt geçersiz
“0”(sıfır) ile sarı	Aygıtın kullanım süresi dolmuş

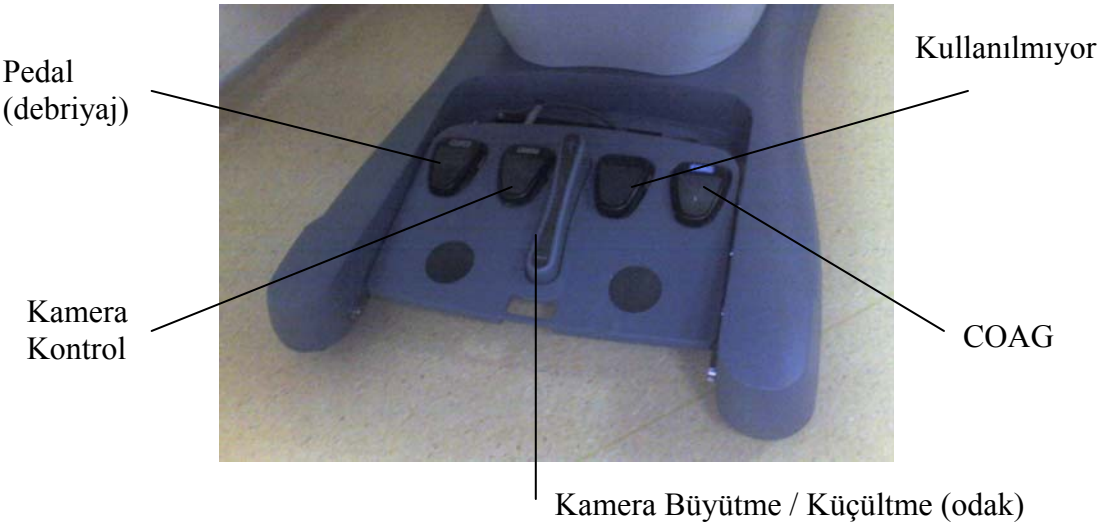
Çizelge 3.3. İkon örnekleri

	Enstrüman kolu ya da kamera kol tutucu işlemde
	Endoskop/Kamera kontrol işlemde
	Kontrol kolu tutucular işlemde
	Açılıp kapanan enstrüman uçları (takip moduna girilmesi için uygun aygıtın tepesi ile kontol kollarının uyumlu olması gerekir)
	Şu an enstrüman takılı değil

Durum gösterme takip modu, takip mod ikonlarının yanında gözüken birleştirilmiş PSM blok ikonları ile ekranın üst orta alanında gözükmektedir

Ayak Anahtarları

Özel da Vinci sistemi fonksiyonları, ana ünitenin tabanında bulunan ayak anahtar topluluğu (pedallar) tarafından kontrol edilmektedir.



Resim 3.15. Ayak anahtarları

Pedal (Debriyaj)

Debriyaj iki amaç için kullanılır: Kontrol kolu tutucuları ve yardımcı kol değişimi.

Kontrol Kolu Kavrama

Debriyaj ayak anahtarını bastırmak ve elinde tutmak kontrol kollarına hareket verirken aynı zamanda enstrüman kollarının Uyku, Hazır-Baş İçeride ve Hazır-Baş Dışarıda modlarında iken uygun olmayan hareketlerine izin vermez. Bu cerrahın, maksimum rahatlığı için ana ünitedeki çalışma alanında kontrol kollarını yeniden konumlandırmasını sağlar, cerrahi alanda aygıt başlarının durağan halde kaldığı sırada debriyaj ayak anahtarını serbest bıraktığımızda kontrol kollarından aygıt kollarına tekrar bağlanır. da Vinci sistemi düzenleme bittirildiğinde, normal operasyonuna devam eder.

Bu hareket, aynen bilgisayar faresinin ekranda oku hareket ettirmeden fare yastığı üzerinde başka bir yere hareket ettirmeye benzer. Ayrıca Uyku ve Hazır-Baş Dışarıda modlarında iken debriyaj serbest bırakıldığında takip moduna geri dönülmesine izin vermeyecektir.

Yardımcı Kol Değiştirme

Sistemler aktif edilmiş yardımcı aygıt kolu ile donatılmıştır, debriyaj ayak anahtarını bastırdığımızda ve çabuk bir şekilde serbest bıraktığımızda kontrolü bir aygıt kolundan işaretlenmiş yardımcı kola değiştirir. Bu çabuk harekete "pedal-tıklama" denir. Değiştirme başladığında her seferinde bu tıklama sesi duyulur.

Kamera

Kamera ayak anahtarı iki fonksiyon için kullanılır: Cerrahın kamera/endoskop topluluğunu hareket ettirmesine ve ayarlamasına ya da 3 boyut ve geniş açı mod (3 kanal endoskop kullanan sistemler için) ayarlamalarına izin verir.

Kameranın Tutulması

Kameranın ayak anahtarının bastırılması ve aşağı doğru tutulması, kontrol kollarının aygıt kollarından ayrılmasına ve Hazır-Baş İçerde modunda iken kontrol kollarının kamera koluna bağlanmasını sağlar. Kamera ayak anahtarının bastırılması, kontrol kollarının hareket etmesinden dolayı kamera kolu da hareket eder. Kamera ayak anahtarını serbest bıraktıktan sonra, da Vinci sistemi, işlemler tamamlandıktan sonra normal işlemi sürdürür.

Geniş Açılı Görünüşe Geçmek

Sistemler, üç kanallı kamera ve endoskop ile donatılmıştır, cerrah 3 boyutlu görüş ile geniş açılı 2 boyutlu görüş arasında ileri ve geri geçiş yapabilir. Kamera ayak anahtarı, ikinci tıklama sesi ile 3 boyutlu görünüş resmine geri döner.

Ancak 3 boyutlu stereo görüntü ve 2 boyutlu geniş açılı görüntü arasında değişim yaparken, kontrol kollarının hareketini devam ettirmeden önce endoskopik aygıtların görüş alanı içerisinde olması sağlanmalıdır.

Odak

Bu ayak pedalı, ana ünitede görüntülenen resmin odak ayarını yapmak için kullanılır. Pedalın artısına veya eksisine doğru basmak odağı ayarlayacaktır.

Kullanılmıyor

Bu ayak pedalı, gelecek için ayrılmıştır ve aktif değildir.

Koyulaşma Kontrolünü Sağlayan Ayak Anahtarı (COAG)

Aygıtın ucundaki koyulaşma işlemini aktifleştirir.

3.2.2. Bağımlı ünite

Bağımlı ünite, ameliyat masasının yanında ve kısmen steril alanın içine yerleştirilmiştir. Bağımlı ünite, aşağıda tanımlanmış olan birçok anahtar bileşenlerini içermektedir.

Kurulum Eklemleri

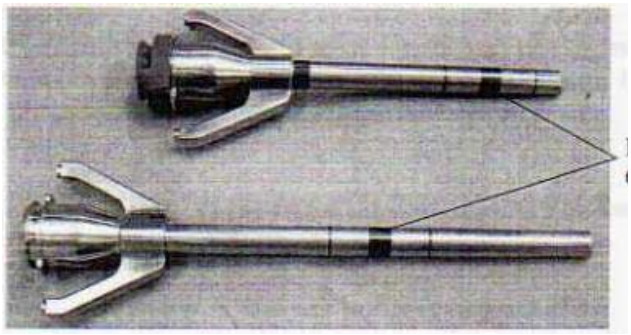
Kurulum eklemleri aygıt kollarını ve kamera kollarını tutar. Bu eklemler, bağımlı ünite kollarının hastanın anatomisine en uygun şekilde yerleştirilmesinde kullanılır. Her aygıt kolu için iki tane serbest bırakma düğmeleri bulunmaktadır: bir tanesi takılı ucun tepesindeki kurulum ekleminde ve diğeri ise aygıt kolunun kenarında bulunmaktadır. Kamera kolu eklem serbest bırakma düğmesi, kamera kolundaki ucun üstünde bulunmaktadır.

Düğmelere basılarak ve el ile tutarak tüm eklemler ve kol her yöne hareket ettirilebilir. Düğme serbest bırakıldığında kol ve eklem kilidi yerlerine oturacaktır.

Sistem kurma eklemlerinin her türlü istenmeyen hareketlerini kontrol eder. Eğer ki kurma eklemi frensiz hareket eder ise, istenmeyen hareket tanımlanır, serbest bırakma düğmesi basılır ve bip sesi duyulur. Aynı zamanda, sistem hareketin miktarını belirleyene dek PSM engellenir. Otomatik olarak kolun durumunu yeniler ve kontrol koluna yeni bir konum atar. Eğer sonraki mod aynı zamanda istenmeyen hareket tarafından kullanılıyorsa, kontrol kolunun işlemleri tamamlandıktan sonra takip eden mod devam eder.

Enstrüman (Aygıt) Kolları

Cerrahın kontrol kollarındaki el hareketleri, aynı tür aygıtın kullanımında tam olarak tekrarlanır. Aygıt kolları uygun olarak konumlandırılmıştır ve aygıtların tam olarak kullanılmasına izin vermektedir. Bağımlı ünite kolları, sabit bir noktaya yerleştirilmiştir. Aygıt kolları ve kamera kolu mil üzerinde, kontrol merkezinin yakınındadır ve öyle uygun bir şekilde yerleştirilmelidir ki hastanın anatomisine uygulanan kuvvet hissedilmemelidir. Kontrol merkezi kanül ün (sonda) üstünde olup geniş siyah bir bant ile işaretlenmiştir.



Resim 3.16. İki türlü enstrüman kol kanülü vardır: Uzun ve kısa.

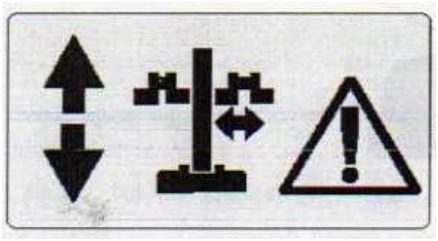
Kamera Kolu

Kamera kolu, 3 boyutlu kamerasının durumu ve hareketini hastanın vücudunun dışından kontrol edilmesini sağlar.

Yardımcı Kol

Diğer aygıt kolları gibi, seçime bağlı olarak kurma eklem düğmesi kullanılarak yerleştirilmiştir. Kurma eklem düğmesine basıldığında, kola pozisyon verdirerek aygıtların yönlendirilmesi sağlanır. Bununla birlikte, yardımcı kolu aşağı ve yukarı hareket ettirmek için, uygun gereksinimler karşılanmalıdır.

Yardımcı kolun yukarı ve aşağı olan hareketleri , "Z-eksen" hareketleri olarak da adlandırılır. Kol, kamera kolunun da üzerinde bulunduğu dik kaydırmalı parmaklığının üzerine monte edilmiştir. Yardımcı kolu, Z-eksen üzerinde aşağı ve yukarı hareket ettirirken dikkatli olunmalıdır. Olasılıklar göz önünde bulundurulursa, yardımcı kol çalışma masası ile ya da başka bir enstrüman kolu ile çarpışabilir. Yardımcı kolun üzerinde Şekil 3.8'deki etiket bulunmaktadır.



Şekil 3.8. Yardımcı kol etiketine örnek

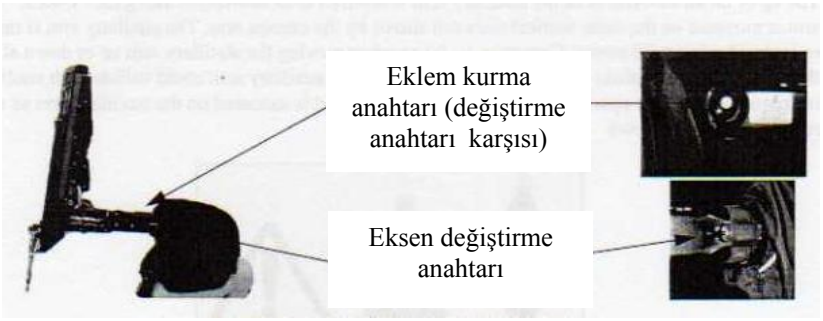
da Vinci sistemi, eğer ki cerrahın kolunun hareketlerini operasyon sırasında belirler ise ya da seçime bağlı olan yardım kolunun dikey eksen üzerinde çarpışmasını fark eder ise, operatörü ikaz eder. Operatörler, mecburi olarak cerrah kollarının güvenli hareketlerini hasta tarafında kontrol ederler. Yine hasta tarafında işlemi yakından izlerler, çarpışmaları önlerler ve istenmeyen cerrahi kol hareketlerine müdahale ederler.

Yardımcı Kolu Hareket Ettirmek

Yardımcı kol, kullanıcı sadece eklem kurma düğmesine bastığında ve aynı anda yardımcı kol ile tahta anahtarı aşağı ve yukarı hareket ettirdiğinde, Z-eksen üzerinde

aşağı ve yukarı hareket etmek için tasarlanmıştır. Düğmelere 3 saniye boyunca basılı tutulmalıdır.

Kontroller, yardımcı aygıt kolunun üstünde ve karşılıklı olarak yerleştirilmişlerdir. Bip sesi, kurma eklem düğmesine basıldığında duyulur ve yardımcı kol aşağı/yukarı hareket ederken, ikon Z-eksen hareketini ekranda gösterir. İkon, renkli olarak gösterilen yardımcı kolun yanında gözükür.



Resim 3.17. Yardımcı kol ve kontrolleri

Eğer sadece eklem kurma anahtarı basılırsa, kol normal olarak yönetilebilir fakat yukarı ve aşağı hareket etmeyecektir. Eğer eklem kurulum düğmesi kullanılmadan sadece değiştirme anahtarı bastırılırsa yardımcı kol yönetilemeyecektir ve aşağı ve yukarı hareket etmeyecektir.



Resim 3.18. Merkez parmaklık üzerindeki yardımcı kol örneği

Yardımcı kol, aygıt tutunması boyunca ya da acil durdurma sırasında Z-ekseninde hareket ettirilemez.

Sistem, hareket bitmeden önce alt tarafta yardımcı kolun hareketini tamamladığında ya da hareketin en üst seviyesinde durumu fark eder ve otomatik olarak kaldırma motorunu durdurur. Bip sesi ile bu durumu bildirilir ve ikon ile bunu gösterir. Aşağıdaki ikon geçerli olmayan her türlü hareket olaylarında kullanılır ve yardımcı kolu simgeleyen renkli ikonun hemen yanında gösterilir.



Şekil 3.9. Çarpışma ikonu

Çarpışmayı Ortaya Çıkartma

Sistem monitörü yardımcı kolun Z-ekseni etrafındaki yukarı ve aşağı hareketini denetler. Eğer sistem başka bir yerinde kilitlenmiş cerrahi eklem kurma anahtarı hareketi belirler ise, kaldırma motoru durur, üç kere bip sesi duyulur ve Z-eksen engelleme ikonu stereo görüntüleyicide ve asistanın ekranında görülür. Z-eksen düğmesi serbest bırakıldığında ikon kaldırılır.

Aşırı Kuvvet Bulma

Yardımcı kol, kolun Z eksenindeki hareketi sırasında aşırı kuvvet oluşturmasından haberdar olmak için kurulmuştur ve bu durumda hareketi durdurmak için de kullanılır. Mesela, yardımcı kolu kaldırırken, kolun çalışma masasına çarpma olasılığı mümkündür. Sistem, kolun obje üzerine kuvvet oluşturduğunu fark eder ve otomatik olarak kaldırma motorunu durdurur.

Kuvvet kaldırılana kadar tekrarlı bip sesleri duyulur ve ikon ekranda gösterilir. Kuvvet, kolun aksi yöne doğru hareket ettirilmesiyle hatanın temizlenmesi sağlanır ya da basitçe engellenme kaldırılır.

Drapeler ve Steril Adaptörler

Steril adaptörler aşağıdaki aygıtlar arasında mekanik ve steril bağlantılar sağlarlar:

- Enstrüman kolu ve enstrümanlar
- Kamera kolu ve endoskop
- Kamera ve endoskop

Steril adaptörler ve drapeler steril bir ortam sürdürmek için birlikte çalışırlar.

3.2.3. Enstrümanlar

EndoWrist enstrümanları daVinci sistemi ile çalışmaktadır. Bu Intiutive Surgical enstrümanları hareketin 7 derecesini kullanır (6 serbestlik derecesi ve 1 açma kapama özelliği). Enstrümanlar, araçların kollarına bağlıdır ve işlem sırasında değiştirilebilirler.

Enstrüman Tanımlaması ve Açıklaması

Açıklama etiketi her aygıtın ön yüzünde bulunmaktadır. Bazı örnek aygıt tipleri Çizelge 3.3'de resimlendirilmiştir.

Çizelge 3.4. EndoWrist enstrümanları ve açıklamaları

	Uzun Tip Pens (Kıskaç) Dokunun atraumatic tutulması için tasarlanmıştır.
	Yuvarlak Tip Makaslar Doku ya da dikişi kesmek için tasarlanmışlardır.
	DeBakey Pens (Kıskaç) Dokunun atraumatic tutulması için tasarlanmıştır.

Çizelge 3.5. (Devam) EndoWrist enstrümanları ve açıklamaları

	Küçük Pens İliştiricisi Damarı pensler ile bağlamak için özel olarak tasarlanmıştır.
	Neşter/Yakıcı 15 derecede neşter ağzını tutmak ve bıçak ağzını tutmak için tasarlanmıştır. Bu bıçaklar elden çıkartılıp tekrar takılabilir ve aletten çıkartılabilir.
	Neşter /Yakıcı Bıçak ağzını tutmak için tasarlanmıştır. Bu bıçaklar elden çıkartılıp tekrar takılabilir ve aletten çıkartılabilir.
	Geniş İğne tutacağı Karbür içine konulur ve iğneleri tutmak için kullanılır.
	Potluk Makasları Dokunun nazikçe kesilmesi için tasarlanmıştır.
	Yuvarlak Diş Pensi Dokunun atraumatic tutulması için tasarlanmıştır
	Siyah Küçük Elmas Pens Nazik bir alettir ve daha küçük iğneleri tutmak için dokular içinde kullanılır.
	Cadiere Pens Dokunun atraumatic tutulması için tasarlanmıştır.
	Yakıcı Spatula Ucu keskin ya da sivri olmayan parçaları ayırma ve yakma işlemlerinde kullanılmak için tasarlanmıştır.
	EndoWrist ProGrasp Cadiere penslerden daha kuvvetlice dokuları tutmaya yarayan penstir.

Çizelge 3.6. (Devam) EndoWrist enstrümanları ve açıklamaları

	Cichon Doku Pensi Dokunun atraumatic tutulması için tasarlanmıştır. Cichon doku pensleri, DeBakey pensleri ile aynı şeyleri yapar ama daha küçüktür.
	EndoWirst PreCise İki kutuplu Aygıt Birleşik, kusursuz elektrokoter ve hemostasis bir aygıttır. Dokunun atraumatic tutulmasında ve iki kutuplu yakma işlemleri için tasarlanmıştır.
	Ultrasonik Kesiciler Hızlı bağlama ve doku işleminde kullanılmak için tasarlanmıştır.

Limitsiz Tekrar Kullanım ve Son Kullanmayı Belirleme

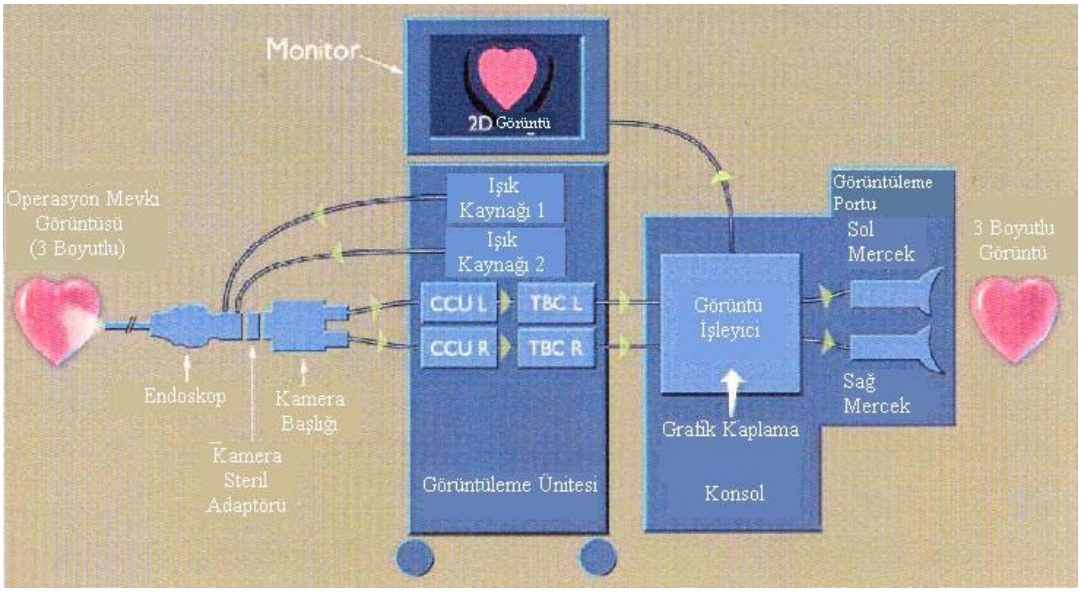
Intiutive Surgical enstrümanları, kullanım süreleri boyunca önceden belirlenmiş olan kullanım miktarları süresince, değişmeyen bir performans gösterirler. Bazı aygıtlar sınırlı miktardaki işlemlerde kullanılabilirler, mesela küçük kırpma aleti, sınırlı sayıda enstrüman ilave edildiğinde kullanılabilir.

Mesajlar, verilmiş olan aygıtın her seferinde değişiklik yapıldığında geriye kalan kullanım miktarını ekranda gösterirler. “0”, aygıt devam eden işlemde hala kullanılabilir fakat yeni bir işlem için kullanılamaz. İkonlar açıklamaları ile birlikte Çizelge 3.2’de görülebilir.

3.2.4. InSite görüntüleme sistemi

InSite görüntüleme sistemi cerrahi bölgenin yüksek kaliteli üç boyutlu görüntüsünü sağlar. Endoskopik teknik ve donanıma aşina olan tıp profesyonelleri tarafından kullanılması amaçlanmıştır. InSite görüntüleme sistemi endoskoplar, kamera başlıkları ve içinde çeşitli görüntü işleme ve geliştirme donanımı barındıran bir

görüntü ünitesi içerir. Cerraha yönelik görüntü ana ünitededir. Yardımcı için görüntü ya görüntü ünitesi üzerinde veya kullanıcı tarafından belirtilen başka bir yede görülür. Sistemin grafik bir temsili Şekil 3.10'da gösterilmiştir (sistemler arasında farklılıklar görülebilir).



Şekil 3.10. InSite Panasonic bileşenleri ve optik yol

Şekil 3.10'daki "CCU" ve "TBC" terimleri Camera Control Unit (kamera kontrol ünitesi) ve Time Based Corrector (zaman tabanlı düzeltici) anlamına gelir. Olympus sistemlerinde üçüncü bir optik yol mevcuttur.

Normalde iki tane üç çipli kamera içeren bir kamera başlığı üç boyutlu (iki veya üç ayrı optik kanal içeren) endoskoba bağlanmıştır. Sol veya sağ bağımsız olarak elde edilmiş ameliyat bölgesinin görüntüleri da Vinci sistemi tarafından tek bir üç boyutlu yüksek çözünürlüklü çift gözlü (dürbün) görüntüsüne birleştirilir. Bazı sistemlerde yardımcı bir geniş açı görüntüsü sunan üçüncü bir optik kanal mevcuttur. Cerrah geniş açılı iki boyutlu görüntü ve birleştirilmiş üç boyutlu görüntü arasında geçiş yapabilir. Görüntü netleştirmesi cerrahın konsolundaki bir pedal aracılığıyla veya görüntü ünitesindeki via butonları aracılığıyla gerçekleştirilir. Ameliyat görüntüsünün büyütülmesi cerrah tarafından endoskop girişinin derinliğini ayarlayarak kontrol edilir.

InSite Görüntüleme Sisteminin Bileşenleri

InSite görüntüleme sistemi aşağıdaki 3 ana bileşeni içerir:

- Endoskoplar
- Kamera başları
- Resim çoğaltma aygıtları

Endoskop, kamera steril adaptörünü kullanarak kameraya bağlanmaktadır. Kamera başlığı, sisteme bağlı olarak iki ya da üç ayrı kameradan oluşmaktadır. Her bir optik yol için bir kamera kullanılmaktadır(sağ ve sol); eğer üçüncüsü mevcut ise, geniş açı görüşü için kullanılır. Her kamera, resim parkalığını ve diğer fonksiyoları kontrol eden kamera kontrol birimine (CCU) bağlıdır. Kamera başları ayrıca, ayak pedalını kullanarak cerrah konsolundan cerrahın kameraya odaklanmasına izin veren, odak kontrollerine bağlıdır. Sonunda, ışıklandırmadan gelen ışık, endoskoba bağlı olan fiber optik ışık kılavuzundan geçerek, cerrahi alana dağıtılmaktadır.

Endoskoplar, kamera başlıkları ve adaptörler çeşitli konfigürasyonlar için kullanılmaktadır. ISI bu bileşenleri “Tip 1”, “Tip 2” ya da “Tip 3” olarak tanımlamaktadır. Endoskop ürünlerinin arasındaki fark genelde imal eden firma ve dizaynı içerir. Çeşitli tipteki ürünler kolaylıkla, açıkça belirtilmiş olan etiketlerden tanınmaktadır.

Endoskoplar

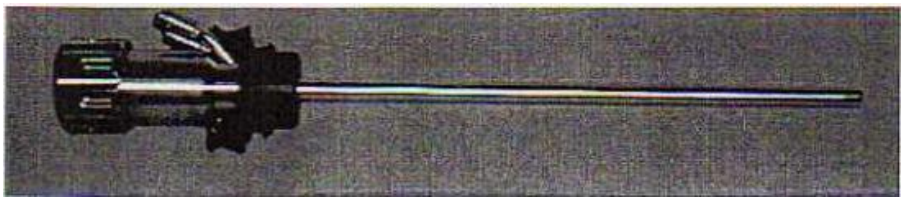
Düz ve açılı 3 boyutlu endoskoplar da Vinci sistemi ile sağlanmaktadır. Endoskoplar, kamera başlığına bağlanabilir ya da çıkartılabilir, işlem sırasında birçok görüş açısına izin verilir.

Endoskop tipleri Resim 3.19’da görülmektedir.



Resim 3.19. Açılı ve Düz Endoskop tipleri

Endoskoplar, üç ayrı stilde ve tipte bulunur. Hasta tarafındaki bileşenlerle çalışan örnek endoskop aşağıda gösterilmiştir.



Resim 3.20. Tip 1 Endoskop

Endoskop/Kamera topluluğu, kamera kol steril adaptörü ile sıkıca kapatılmıştır. Kullanılmış adaptör, kullanılan endoskop tipiyle uyumlu olmalıdır.



Tip1 Endoskop
Kamera kol steril adaptörü



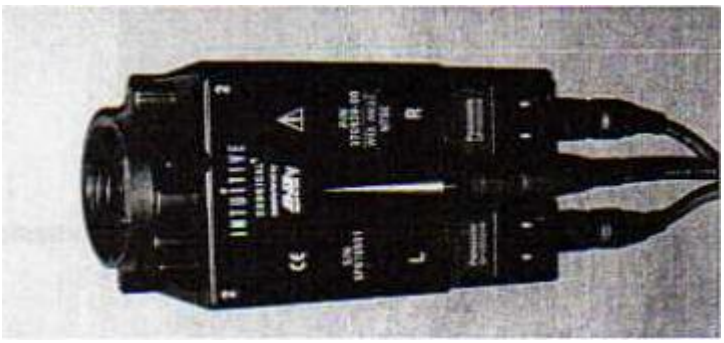
Tip2 Endoskop
Kamera kol steril adaptörü

Resim 3.21. Kamera kolu steril adaptörlerine örnek resimler

Kamera Başlıkları

InSite görüntüleme sistemi ile birlikte verilen 3 boyutlu kamera başlıkları, iki ya da üç kamera içermektedir. Bir kamera, sağ optik yol için kullanılırken diğeri ise sol optik yol için kullanılır. Endoskobun ayrı optik kanallardan kazanılmış sağ ve sol görüntüleri, kamera başlığına yönlendirilir ve bağımsızca işlem yapar. Hem büyütme

kameraları hem de geniş açılı kameralar mevcuttur. Üçüncü optik kanala sahip olan sistemler, ek olarak 2 boyutlu geniş-açılı görüş sunmaktadırlar. Resim 3.22'de görüldüğü gibi üç optik kanala sahip kamera başlığı görülmektedir.

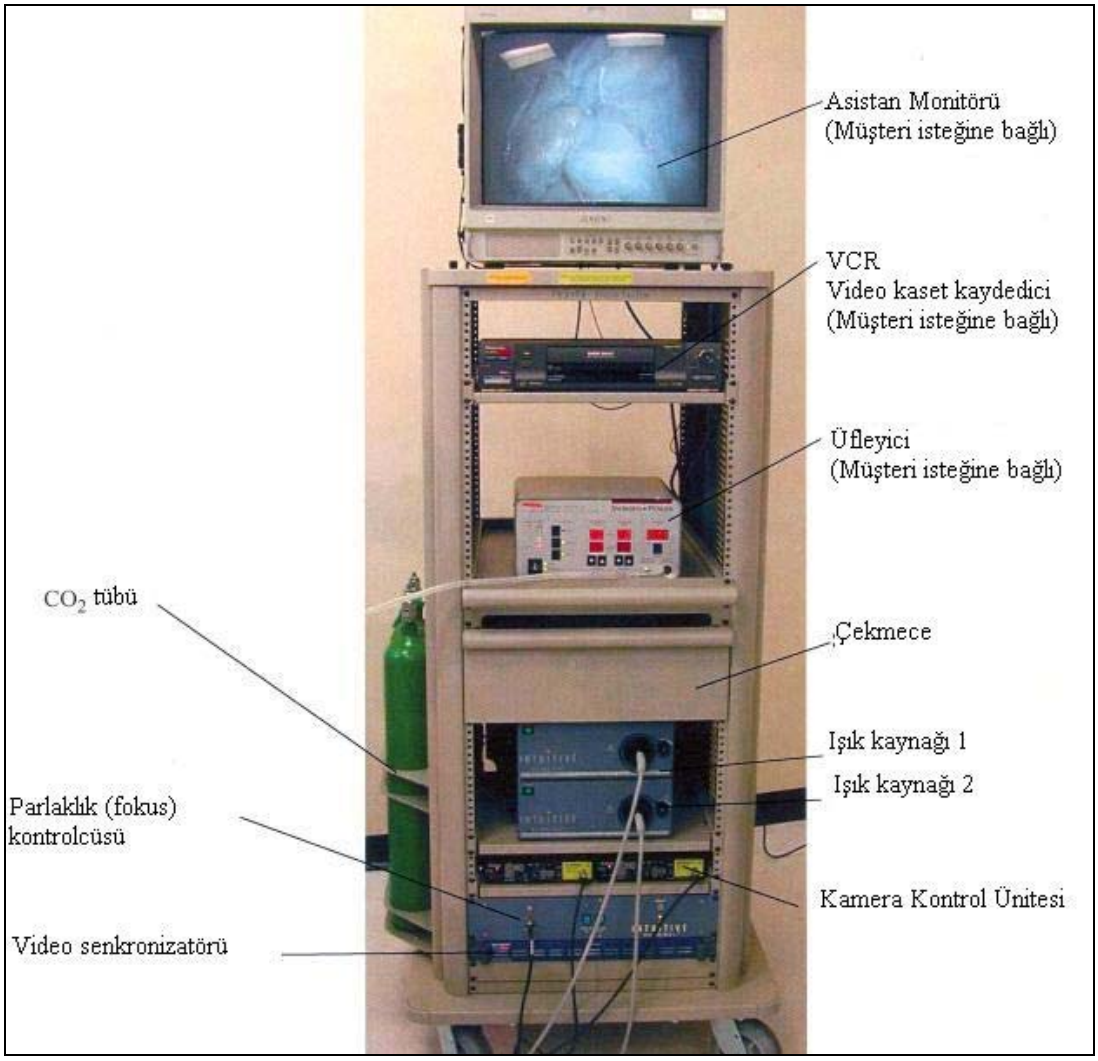


Resim 3.22. Tip2 Geniş Açılı Kamera Başlığı

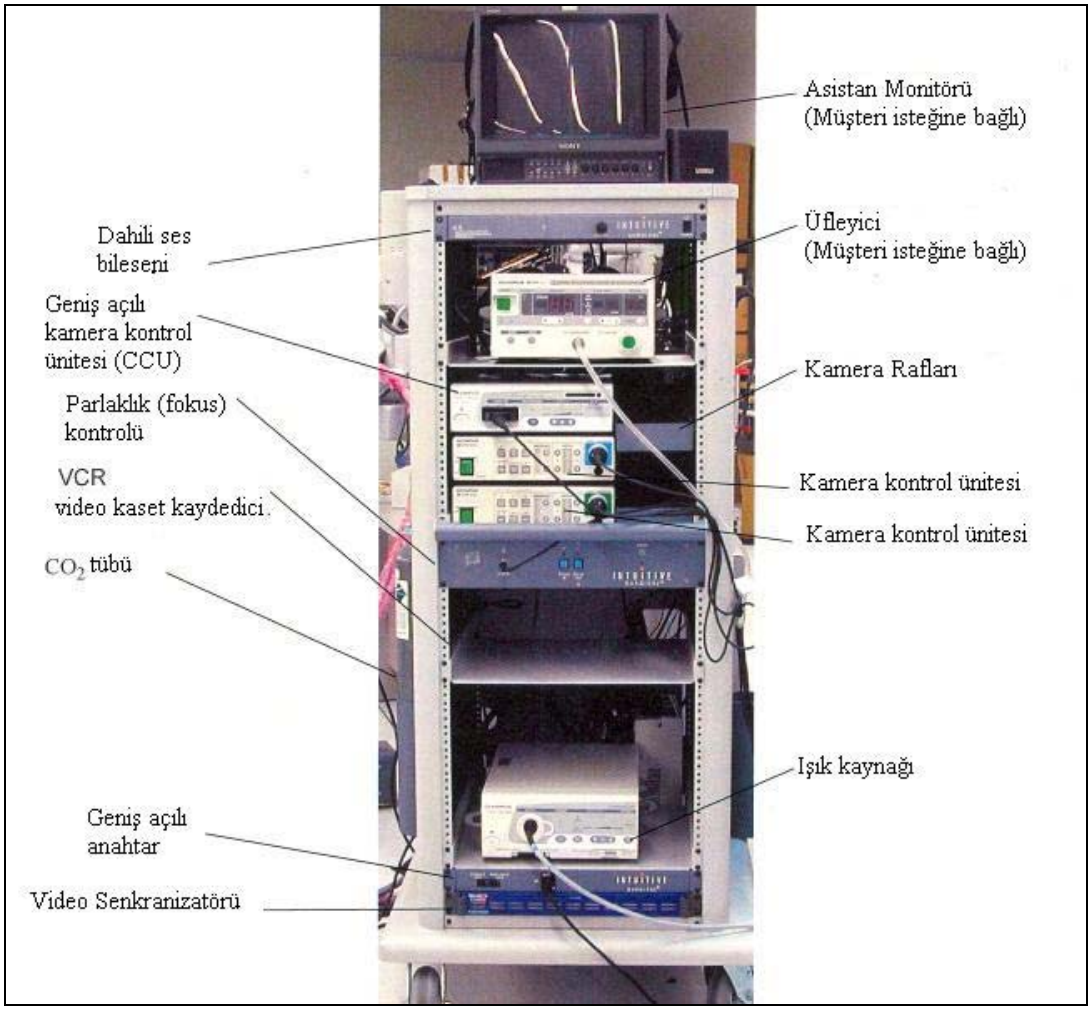
Görüntüleme Ünitesi

Görüntüleme ünitesi, işlem sırasında resim kalitesini uygun hale getirmek için bir çok bileşen kullanır. Raflar ve güç kabloları, müşteri isteğine göre verilmektedir. Eğer bir donanım yüklenmek istenirse, görüntüleme ünitesine yerleştirilir ve verilmiş olan güç kablosuna takılır.

İki tip Görüntüleme Ünitesi mevcuttur. Birincisi Panasonic konfigürasyon içerirken, ikincisi ise Olympus konfigürasyon içermektedir.



Resim 3.23. Panasonic görüntüleme ünitesi bileşenleri



Resim 3.24. Olympus görüntüleme ünitesi bileşenleri [20]

4. DAVINCI AMELİYAT ROBOTUNUN İÇYAPISI

Bu bölümde daVinci ameliyat robotunun elektromekanik parçaları, algoritma altyapısı, sistem ağları ve düğüm noktaları ve robotun nasıl işlediği incelenmektedir.

4.1. Elektromekanik Parçalar

daVinci ameliyat robotu PID, motorlar, motor akım yükselteçleri, dijital analog çeviriciler, kodlayıcılar, potansiyometreler, devir eklemleri, dişliler, makaralar, çıkrıklar, silindirler, ağırlıklar, vidalar, yalpa çemberleri ve Hall etki sensörlerini bünyesinde barındırır. Bu bölümde daVinci sisteminin parçaları tanımlanıp, bu parçaların fonksiyonları anlatılacak ve parçaların elektromekanik hareketi tamamlayan diğer parçalarla çalışması açıklanacaktır.

4.1.1. PID (orantı - integral – türev) denetleyici

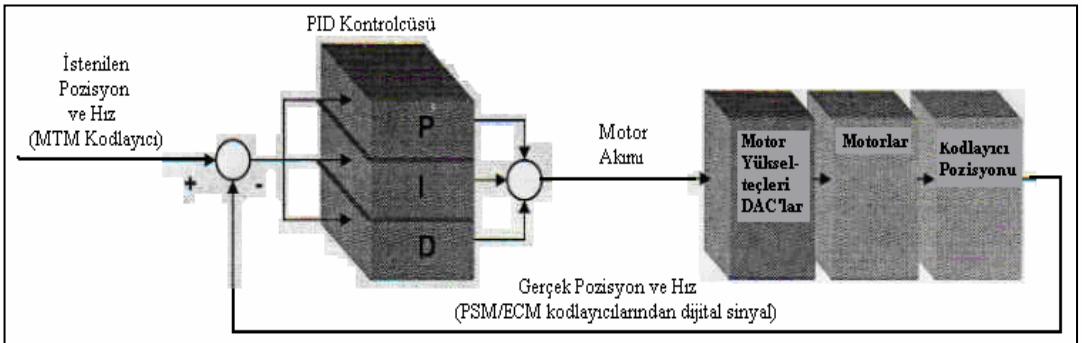
Üç tane algoritma (orantı, interal, türev), aktif pozisyonu ve yüklenen - istenilen pozisyonu denetlemek için kullanılır.

Orantı *:* Motor akımını kodlayıcıdan gelen pozisyon bilgisine oranla ayarlar.

İntegral *:* Belirsiz motor akım çıktısı ile istenilen pozisyon arasındaki otomatik düzeltmeleri ortaya çıkarır.

Türev *:* Kodlayıcıdan gelen pozisyon bilgisi değişiminin zamana göre oranının düşünülerek gerekli uygulamanın önceden öngörülmesidir.

daVinci sisteminde PID denetleyici algoritmaları kodlayıcı çıktıları ile istenilen pozisyonları karşılaştırır. Bu bilgiden yola çıkarak PID denetleyici hata oranını hesaplar ve motor akım yükseltecine komut akım sinyalini göndererek istenilen pozisyon için hassas hareketi sağlar. Genellikle, istenilen pozisyondan gelen yüklenmiş aralık, komut akım sinyalinin büyüklüğünü belirler.

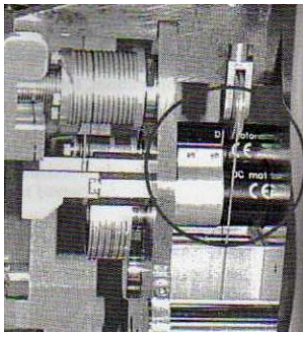


Girişler: Kodlayıcılar
Çıkışlar: Motor Akımları
Gereklilikler: Kodlayıcının düzgün okuması
Motor akımının dağıtılması
Komutların düzgün dağılması
Mekanik bağlantıların tamam olması.

Şekil 4.1. PID denetleyicinin çalışmasına dair blok şema

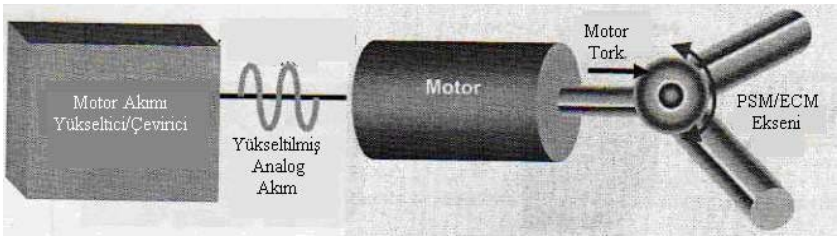
4.1.2. Motor

Elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren makinedir. daVinci sisteminde, motorlar MSD (Multiple Servo Driver- Çoklu Motor Sürücü) kartı üzerinde bulunan yükselteçlerden giriş akımını alırlar ve bu giriş akımlarını mekanik torklara çevirerek, takımlara, tellere ve birleşik parçalara uygularlar.



Resim 4.1. daVinci sisteminde kullanılan motorlara örnek

daVinci'de pek çok motor grafit fırçalara sahiptir (düşük güç, yüksek iletim güvenilirliği). ECM koldaki iki motor ise karbon fırçalara sahiptir (yüksek güç, orta iletim güvenilirliği).



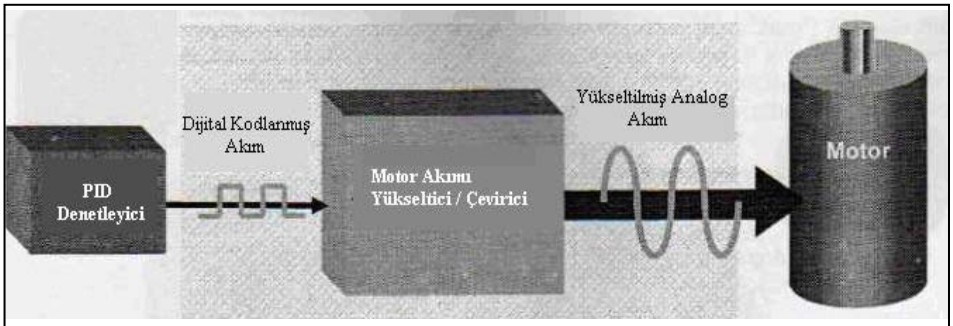
Fonksiyon: İşlem esnasında elektrik akımını mekanik torka çevirmek.
Giriş: Akım
Çıkış: Tork
İlgi: Tork = Sabit x Akım

Şekil 4.2. Motor akımının yükseltilip enstrüman uçlarına iletilmesi

4.1.3. Motor akım yükselteci ve dijital/analog çeviriciler

Bu ünite motor akımını kontrol eder. Motor akım yükselteci giriş komutunu alır ve uygun çıkış akımı olarak değiştirir. daVinci sisteminde, yükselteçler MSD kartlarda bulunur ve akım sinyalini yükselterek motora gönderirler.

Dijital/Analog Çevirici (DAC): PID denetleyici çıkışından gelen dijital akımı, analog akım sinyaline çevirir ve motor akım yükseltecinde yükseltilen sinyali motorlara gönderir.

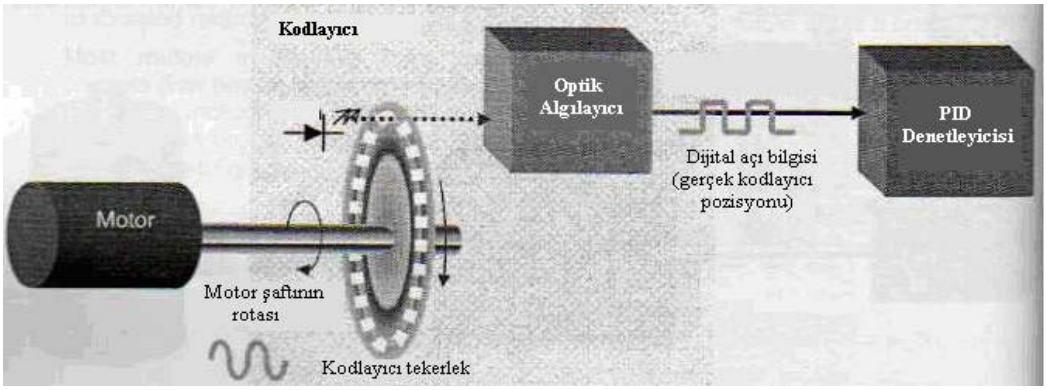


Fonksiyon: Dijital komutlanmış akımı aktif akıma çevirme.
Giriş: Dijital Akım
Çıkış: Analog Akım
İlgi: Analog Akım = Kazanç x Dijital Akım

Şekil 4.3. daVinci sistemindeki motor akım yükselteçleri ve DAC'ların kullanımının blok şeması

4.1.4. Kodlayıcı

Bu elektromekanik ünite, şaft dönüşünün açısal pozisyonlarını, dijital palslerin uygun dizilimlerine çevirir. daVinci sisteminde kodlayıcı direkt olarak motorun şaftına montajlıdır ve motorun hareketini çok iyi gözlemler. Daha sonra pozisyon içerikli bilgiyi PID denetleyiciye gönderir ve kodlayıcı-pot karşılaştırma işlemini yürütür.



Fonksiyon:	Motorun şaft dönüşünü soyut açı olarak ölçmek.
Giriş:	Analog açı
Çıkış:	Soyut açı
İlgi:	Soyut Açı = Kodlayıcı Disk Çözünürlüğü x Analog Açı

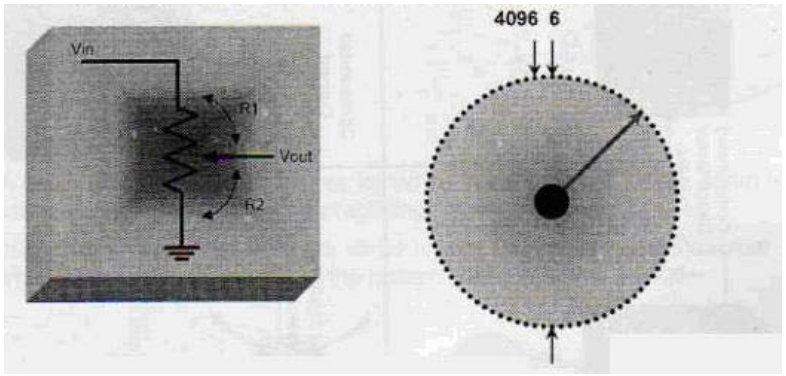
Şekil 4.4. daVinci sistemindeki kodlayıcıların kullanımını gösteren blok şema

4.1.5. Potansiyometre

Değişken direnç burada voltaj bölücü olarak kullanılır. daVinci sisteminde, potansiyometreler direkt olarak kendi eksenine (mil) montajlıdır ve yüklü pozisyonun sensörler ile izlenmesini sağlarlar. Potansiyometre motorun giriş akımının harekete dönüşmesini sağlamak için kodlayıcıyı garantiye alır ve yedeklemede kullanılır.

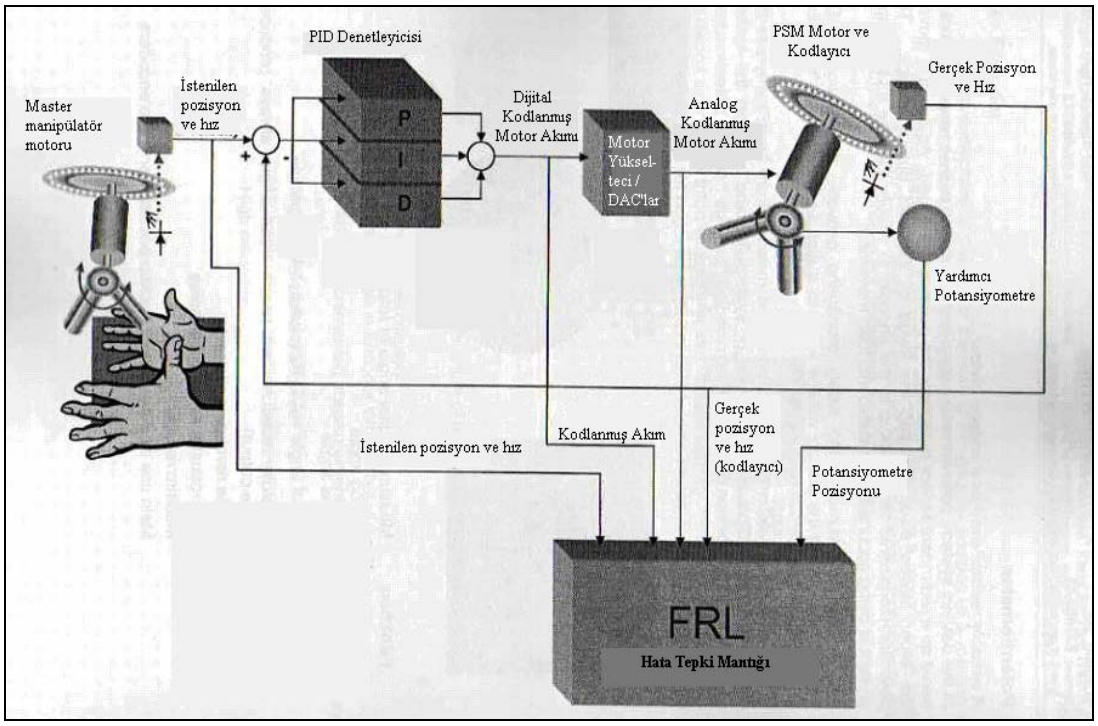
Bu voltaj güvenli izleme ağında yerini almıştır. İşlemciler ADC'ler sayesinde analog voltaj değerini dijital potansiyometre değerine çevirir. Potansiyometre değerleri aralığı 6 ile 4096 arasında değişir (Şekil 4.5).

Potansiyometreler kesin pozisyonu (sıfırdan gelen pozisyon) kodlayıcılar yapamazken ayarlayabilirler. Bu sistemin amacıdır. Sistem ilk ana pozisyon ile temas kurduğunda bu kodlayıcıları sıfırlar, kodlayıcılara referans noktası verir ve bu ana pozisyondur. Potansiyometre kodlayıcı için yön gösterir.



Fonksiyon: Dönüşün dijital açısının ölçülmesi
Giriş: Analog açı
Çıkış: Dijital açı
İlgi: Dijital açı = A / D Çözünürlüğü x Analog Açı

Şekil 4.5. daVinci sistemindeki potansiyometre



Şekil 4.6. Kontrol kollarındaki hareketin bağımlı ünitedeki kollara iletilmesinin blok şeması

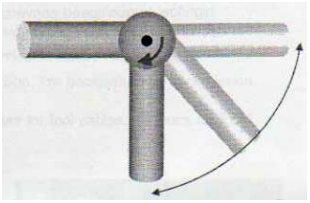
4.1.6. Backlash (eklemlerdeki boşluk)

Hareket ya da oynar dişliler ya da diğer mekanik parçalar arasındaki serbest bağlantılarının sonucudur. daVinci sisteminde boşluk, yüksek kaliteli parçaların küçük hareketleri ile karşılanmıştır.

4.1.7. Devir eklemi

Bu mekanik eklem mili boşlukta kendi etrafında döndürür.

daVinci sisteminde birçok dönme eklemi, insan el, kol ve omuz hareketlerini taklit etmede kullanılır.

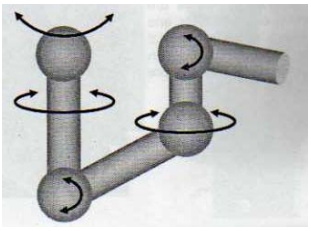


Şekil 4.7. Devir eklemi

4.1.8. Seri (ardışık) bağlantı

Mekanik yapılanmalar zinciri dönme eklemleri tarafından yapılırlar. Her bir zincir ardışık bağlantı içinde denge için bir önceki bağıntıya zorunlu bağımlıdır.

daVinci sisteminde, ardışık bağlantılar mekanik yapıyı oluşturmak için kullanılır ve bu bize insan el, kol ve omuz hareketlerinin taklitlerini bu mekanik yapıda sağlar.

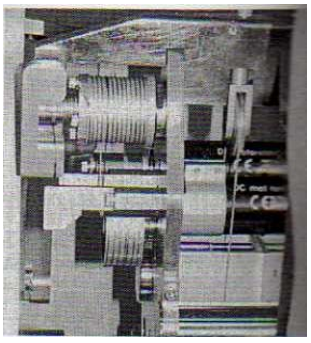


Şekil 4.8. daVinci kollarındaki seri bağlantının gösterimi

4.1.9. Dişli / tel yapıları

Bu bölüm motor girişini (düşük tork ve yüksek hız) mil için kullanılabilir çıkışa (yüksek tork ve düşük hız) çevirmekte kullanılmıştır.

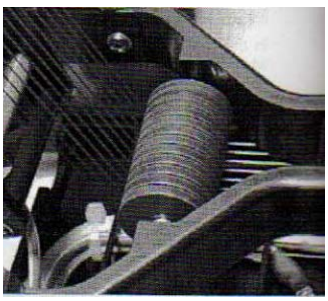
daVinci sisteminde dişli ve tel dönüşümleri düşük/yüksek tork/hız dönüşümleri ve hareket ölçeklendirmesinde kullanılmıştır.



Resim 4.2. daVinci sistemindeki dişli/tel yapılarına örnek

4.1.10. Makara

Geniş kenarlı tekerlek veya yivli kenar tel iletiminin yönünü değiştirme içindir. daVinci sisteminde makaralar kapsamlı olarak PSM ve MTM'lerde iletimin son noktasında tele yön göstermede kullanılmıştır. Makaralar tellerin gerginlik ayarlarının sağlanmasını gerçekleştirirler.

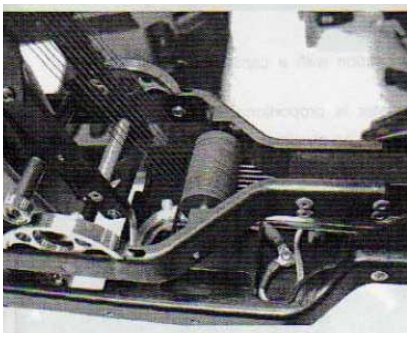


Resim 4.3. daVinci sistemindeki makaralara örnek

4.1.11. Tel iletimi

Teller, uzaktaki alana motor çıktısını en az sürtünme ile iletirler. daVinci sisteminde, tel iletimleri motor konumlarının en az ağırlık ile yüklenmesine olanak sağlarlar.



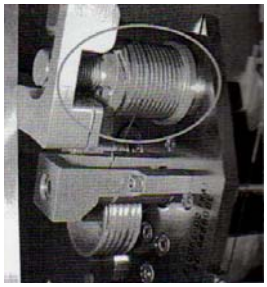


Fonksiyon:	Mekanik gücün iletilmesi
Giriş:	Düşük tork, yüksek çabukluk
Çıkış:	Yüksek tork, düşük çabukluk
İlgi:	Çıkış Torku = İletim Oranı x Giriş Torku
	Çıkış Çabukluğu = (1 / İletim Oranı) x Giriş Çabukluğu

Resim 4.4. Tel iletimine örnekler

4.1.12. Çıkrık

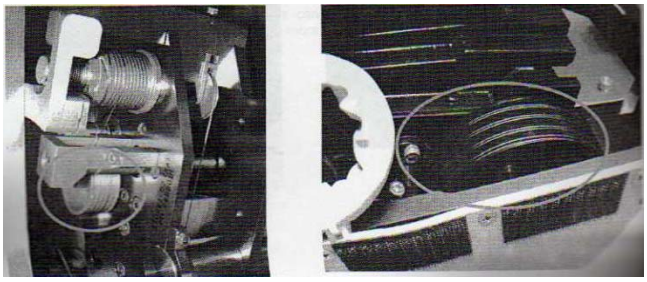
İki ters yönde makaralanmış silindiri açarak, motor torkunun iki tel ile iletilmesinde kullanılan küçük, yivli, motor şaftına eklenmiş silindirdir. daVinci sisteminde, çıkrıklar manipulatörlerin baştan aşağıya kapsamlı kullanımını sağlarlar.



Resim 4.5. daVinci sistemindeki çıkrık örneği

4.1.13. Silindir / sektör

Çıkrık ile tel yapısını birleştirmede kullanılan geniş, düzgün silindirdir. daVinci sisteminde silindirin çapı kullanılan tel yapısı ile orantılıdır.



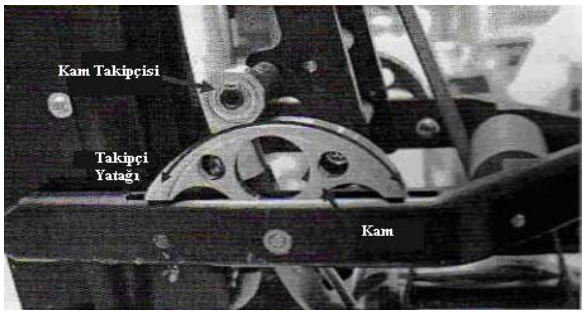
Resim 4.6. daVinci sistemindeki silindirler

4.1.14. Kam

Kam ile temas içindeki bir parçada hareketi sağlamak için dizayn edilmiş yapıdır. daVinci sisteminde, kamlar PSM dizaynında kullanılmıştır. Kam takipçisi için Resim 4.7'ye bakılabilir.

4.1.15. Kam takipçisi

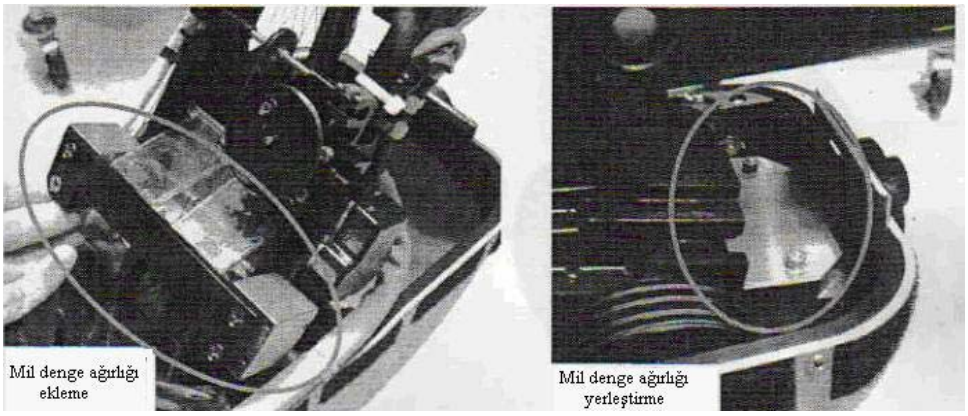
Kamın şeklini ileri hareket ettiren yapıdır. daVinci sisteminde takipçi, PSM'in dizaynında kullanılmıştır, görevi eğim milinin tel hareketi içindeki yardımını sağlamaktır.



Resim 4.7. daVinci sistemindeki kam, kam takipçisi ve kam yatağı

4.1.16. Ters ağırlık

Ağırlık eşit güç dağılımında etkilidir. daVinci sisteminde, ters ağırlıklar PSM ve SUJ dağılımında kullanılmıştır.



Resim 4.8. daVinci sisteminde ağırlık dağılımları

4.1.17. Kılavuz vida

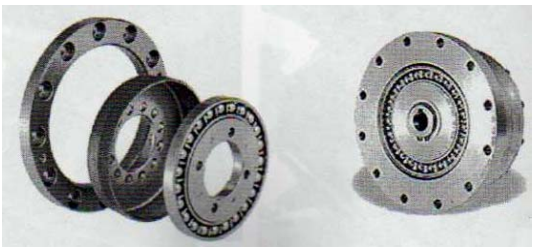
Özel tip bu vida, paralel olmayan, kesişmeyen şaftlara hareketi iletmekte kullanılır. daVinci sisteminde, bu vida ECM'nin ilave millerinin sürülmesinde kullanılmaktadır. Bir motor kılavuz vidayı döndürür, döndürme yivli vida somununu sürer ve bu da kamera silindir milini harekete geçirir.



Resim 4.9. Klavuz vida

4.1.18. Harmonik sürme

Geri sürülebilen (motor tarafından döndürülebilen veya aksi yöne dönebilen ve motoru döndüren) dişli tipi ayarı, yüksek kesinlik, sıfır boşluk (backlash) ve yüksek yumuşaklık sağlar. daVinci sisteminde ECM de kapsamlı olarak kullanılmıştır.



Resim 4.10. daVinci sisteminde kullanılan mekanik parçalardan bazıları

4.1.19. Dişliler

Yönü veya hızı değiştirmek için ya da hareketi iletmek için diğer dişli parçalarla birbirine geçen dişlenmiş, silindirik makine parçasıdır. daVinci sisteminde dişliler, diğer dişlileri, potansiyometreleri ve çıkrıkları sürmede motorlar tarafından kullanılırlar.



Fonksiyon:	Mekanik gücün aktarımı
Giriş:	Düşük tork, yüksek çabukluk
Çıkış:	Yüksek tork, düşük çabukluk
İlgi:	Çıkış Torku = Dişli Oranı x Giriş Torku
	Çıkış Çabukluğu = (1/Dişli Oranı) x Giriş Çabukluğu

Resim 4.11. daVinci sistemindeki dişliler

4.1.20. Eğimli dişliler

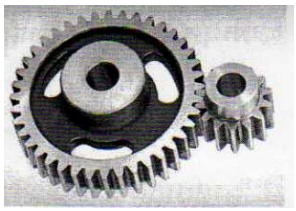
Düzlemsel olmayan açıda dişlilerin bir birlerine kurulumudur. daVinci sisteminde eğimli dişliler MTM yalpa çemberinde kullanılır.



Resim 4.12. daVinci sistemindeki eğimli dişliler

4.1.21. Dürtü dişlileri

Aynı düzlemde dişlilerin kurulumudur. daVinci sisteminde, dürtü dişlileri baştanbaşa ECM kapsamında kullanılmıştır.



Resim 4.13. Dürtü dişlileri

4.1.22. Oynak parça

Başka bir parçayı değiştirmek ya da tutmak için kullanılan makinenin hareketli parçasıdır. daVinci sisteminde oynak parça, PSM ve ECM'de aygıtların yukarı aşağı hareketinde kullanılmıştır.



Resim 4.14. daVinci sisteminde PSM'de kullanılan oynak parça

4.1.23. Yavaş çalışan oynak parça

Bu oynak parça desteklediği oynak parça kadar kendisi hareket etmez, yavaş çalışır. daVinci sisteminde yavaş çalışan oynak parça ünitesi, PSM'in eklenmiş milinde oynak parçanın yukarı aşağı hareketine klavuzluk etmekte kullanılmıştır.



Resim 4.15. Yavaş çalışan oynak parça

4.1.24. Yalpa çemberi (gimbal)

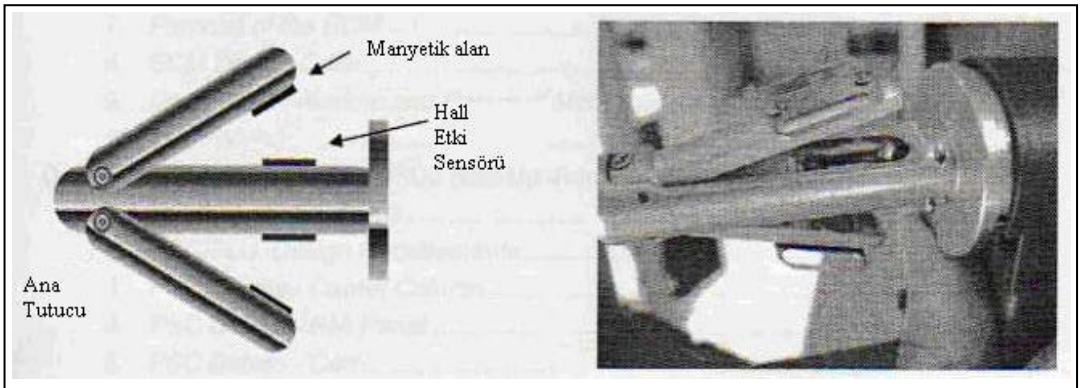
Bu yapının dizaynı tüm yönlerde vücut rahatlığına izin verir. daVinci sisteminde, gimbal var olan PSM/ECM (harici sağa sola sapma, harici yalpalama, ekleme) ve MTM'de (kol sağı solu, kol yalpalaması, yuvarlama) özgür hareketlere izin verir.



Resim 4.16. Yalpa çemberi (gimbal)

4.1.25. Hall etki sensörü

Özel sensörden gelen manyetizmaya ait mesafeyi ölçmek için kullanılmış bir ünitedir ki manyetik alanın gücünü ortaya çıkarır. daVinci sisteminde Hall etki sensörü MTM kolunda kullanılır.



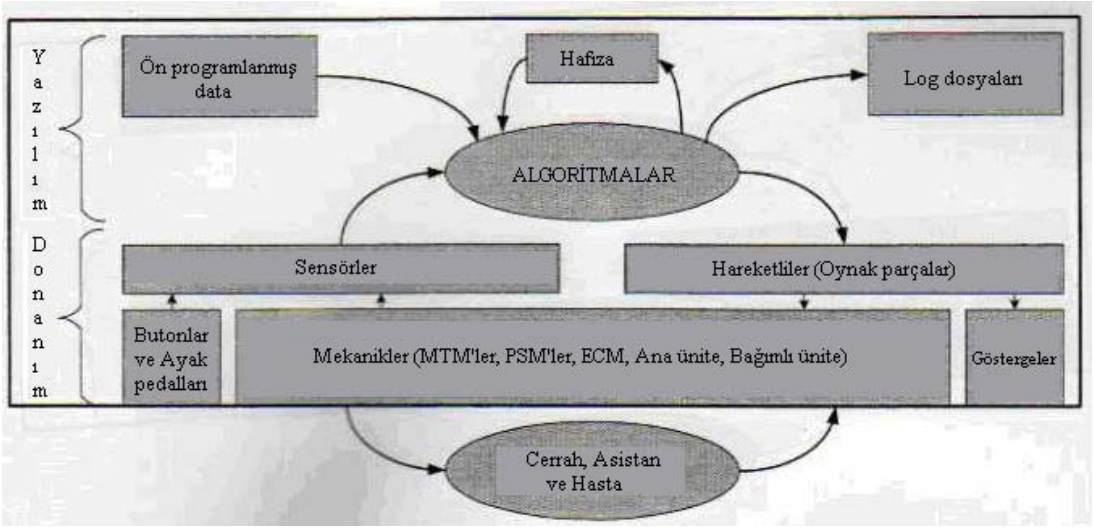
Fonksiyon:	7mm'ye kadar mesafeleri ölçmek
Giriş:	Analog mesafe
Çıkış:	Hall Gerilimi Uh
İlgi:	Hall Gerilimi Uh = Akım x Manyetik Değişim Yoğunluğu Manyetik değişim yoğunluğu X mesafesine bağımlıdır.

Şekil 4.9. Ana ünitedeki kollarda kullanılan Hall etki sensörü

4.2. Algoritmalar

Algoritmalar bir eylemi gerçekleştirmek için, programlanmış bilgi (kod ve parametreler), sensörler (kodlayıcılar/potlar), ve hafıza kullanan, UI geri besleme (sesli-görsel), sistem sağlığını gösteren, sistemi durduran ve bir eylemi kaydeden bir yazılımdır.

Şekil 4.10 algoritmaların, sistemi canlı tutmak için, sisteme nasıl entegre edildiğini gösteren yüksek seviyeli bir diyagramdır.



Şekil 4.10. Algoritmaların sisteme entegre edilmesi

Bu bölüm daVinci sistemindeki algoritmaların amacını, sistemde kullanılan üç tip algoritmayı ve bu üç tip algoritmanın her birine örnek vererek sistemde nasıl çalıştıklarını anlatmaktadır.

4.2.1. daVinci yazılım sisteminin üç seviyesi

daVinci mekanizmasını çalıştıran yazılım şekil 4.11'de gösterilen çeşitli seviyelerdeki karmaşık yapıdan oluşan çok katmanlı yapıdır. Algoritmik mimari en alçaktan en yükseğe üç tabakaya ayrılabilir.

Kernel – gerçek zamanlı işlem

- Yüksek seviyeli hareketlerde alçak seviye algoritması.
- Gerçek zamanlı işlev görür.
- Tüm işlenmemiş data hesaplamalarını uygular (motor döngüsü ve güvenlik algoritması)

Orta Katman- ilkel davranışlar

- Yüksek seviyeli çalışmalarda orta seviyeli algoritma.
- Gerçek zamanda çalışmaz; sadece talep halinde çalışır (örneğin; cihaz değiştirme ve hedefini bulma).
- İlkel davranış modları arasında Kerneli de taşır.

Denetçi – sınırlı hareket makineleri

- İlkel davranışlar arasında sistemi ileten yüksek seviyeli bir algoritma.
- Gerçek zamanda çalışmaz.

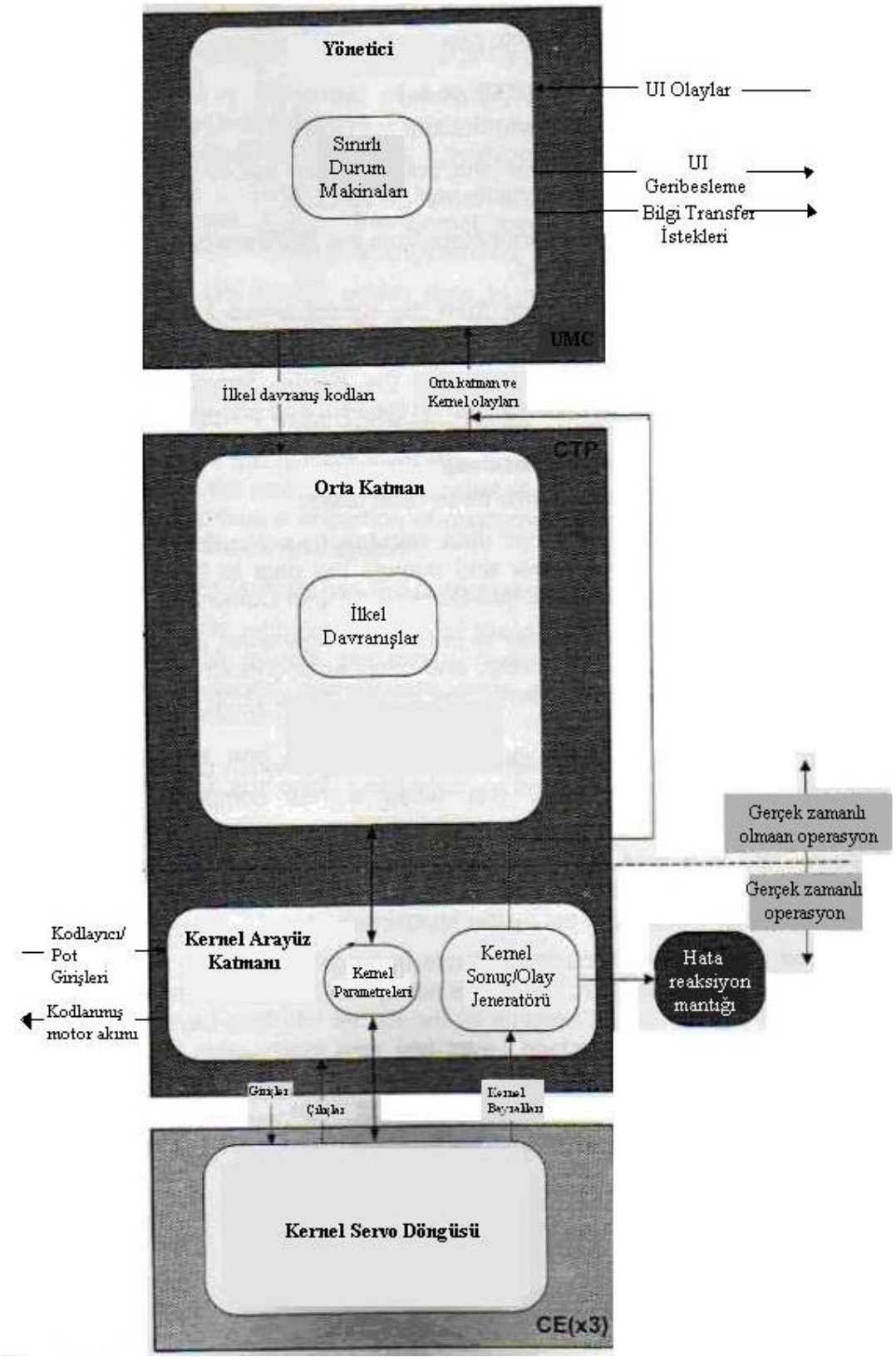
Kernel – gerçek zamanlı işlem (çekirdek)

Alt tabakaya "Kernel" denir. Kernel, tüm ana üniteler ve alt ünitelerde çalışan çoklu giriş ve çoklu çıkışı yönetmekten sorumlu gerçek zamanlı kodu temsil eder. Kernel iki parçadan oluşabilir.

Kernel arabirim katmanı (CTP düğümü)

Kernel arabirim katmanı dört ana görevi uygular:

- Kernel motor döngüsüne gönderilecek olan tüm kodlayıcı ve potansiyometre girişlerini anlaşılabilir bilgiye dönüştürür.
- Aracıdan gelen Kernel parametrelerini dönüştürür ve bunları Kernel motor döngüsüne yollar.
- IOP vasıtasıyla uygulanabilir MSD'lere gönderilen komut motoru devresine giden Kernel motor döngüsünden gelen çıkışları dönüştürür.
- Kernel eylemlerine giden Kernel motor döngüsünden gelen Kernel uyarı bayraklarını dönüştürür.



Şekil 4.11. daVinci yazılım sisteminin seviyelerini gösteren blok şema

Kernel motor döngüsü (CE düğümleri)

Kernel motor döngüsü üç ana görevde çalışır:

- Kernel arabirim katmanından gelen 1 ve 2 numaralı kısımları kullanarak işlenmemiş bilgi hesaplamalarının tümünü uygular ve bilgiyi komut motor devresine çevrilen Kernel arabirim katmanına yollar.
- Potansiyometreyi kodlayıcı benzerlikleriyle, ani hareket limiti, pot limiti, kodlayıcı limit göstergesini ve diğer hata kontrol işlevlerini uygular. Hata bulunması halinde, Kernel motor döngüsü Kernel arabirim katmanına bir uyarı gönderir.
- Belli matematiksel koşullarla karşılaşıldığında Kernel arabirim katmanına bir uyarı gönderir.(örneğin; istenen bir hesaplama tamamlandığında).

Girişler ve çıkışlar arasında değişmez matematiksel bir ilişki söz konusu olduğu için, sistemin davranışındaki değişiklikler, orta katman (middleman) tarafından kurulan Kernel parametrelerini değiştirerek kolayca ve öngörülü bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Kernel ayrıca, tetiklenen eylemlerde, en önemlisi de sistemin hata verdiği durumlarda çok ciddi bir rol oynar. Uyarı bayrakları Kernel içindeki matematiksel koşullarla devreye girer ve Kernel arabirim katmanı tarafından eylemlere çevrilir. Hata verme durumlarında, Kernel arabirim katmanı FRL'yi kapatmak için lokal bir eyleme girişebilir.

Yönetici (denetleyici) kontrolündeki aracı, Kernel'in ne tür hesaplamaları uygulayacağını ve Kernel içindeki parametre kurulumlarını saptamakla sorumludur.

<u>Orta katman – ilkel davranışlar</u>

Orta algoritmik katman "Middleman" (aracı) olarak adlandırılır.

Aracı, ilkel davranış (BPs) kütüphanesinden oluşur. Aracı, Kernel ve Kernel arabirim arasında etkileşimi sağlar ve bir okuma/yazma serisi vasıtasıyla Kernel parametrelerini sağlar. Bu yüzden, ilkel davranışlar mantıksal veya matematiksel hesaplama uygulayarak, Kernel'den gelen parametreleri okuyarak ve sonra Kernel'in içindeki yeni parametreleri yazarak sistem davranışındaki değişikliklere neden olur.

Sabit bir motor oranında gerçek zamanda çalışan Kernel'den farklı olarak, aracı, isteğe göre hareket eder ve sadece en üst katman olan denetleyiciden gelen BP taleplerine göre tepki verir.

Denetleyici (yönetici) – sınırlı hareket makineleri

Denetleyici daVinci ana ve alt ünitelerin gerçek zamanlı motor kontrolünü koordine ve idare eden yazılım hiyerarşisi içinde en yüksek seviye katmanıdır. Denetleyici daVinci sistemi işletmesini yöneten sınırlı hareket makineleri grubundan oluşur.

Denetleyicinin esasen iki sorumluluğu vardır:

- Sistem kontrolörünün yüksek seviyeli hareketini yönetir. Bu, cerraha çok sayıdaki karmaşık operasyonu kartezyen bazlı master-slave güç kullanarak güvenle uygulayabilmesine olanak tanır.
- Tepki veren, öngörü olanağı veren ve cerrah ve sistem arasındaki arabirimi kolayca kullanan spesifikasyonları yerine getirir.

4.2.2. Algoritmik entegrasyon

Kernel ile orta katman

Okuma-yazma arayüzü aracıya sinyal değerlerini okuma yetisini sağlar ve Kernel'deki parametreleri değiştirir.

Arayüz gerçek zamanlı olmayan aracının tek bir motor saykılındaki Kernel moduna geçişini mümkün kılar.

Arayüz sıralamaya komuta eden çoklu *SetVal*'lere izin vererek tamamlanır, ancak sadece yazma komutu gönderildiğinde etkin olur. O zaman, Kernel yeni bir moda aktarılır. Benzer olarak, çoklu *GetVal*'ler sıralamaya girer ve sadece okuma çağrıldığında değerlendirilir.

Denetleyici ile orta katman

Denetleyici ve orta katman arasındaki arayüz ilkel davranışlar (BP) ve eylemlerden oluşur. Denetleyici, Kernel ve aracıyı yürütülecek BP'lerin listesini göndererek kontrol eder. Denetleyici, BP listesinin tamamlanmasına senkronize edilir. Bir BP yürütmesi esnasındaki dahili bir hata sırasıyla düzeltilemez bir arızaya sebep olan denetleyiciye geri döner.

Aracı ve Kernel'den gelen geri besleme yolu eylemlerin formunu alır. Geriye dönmüş her bir eylem iki geçerli durumdan biri olan *Kurma* veya *Temizleme* olarak tanımlanır.

Bir BP, talep edilen BP istemi Kernel'e gönderilmesi onaylandığında *Kernel Temizleme* eylemini oluşturur. *Kernel Kurma* eylemi istem uygulandığında gerçekleştirilir.

Aracı eylemleri, BP'lerin değerlendirilmesi esnasında gerçekleştirilir ve geriye gönderilme statüsüne bağlı olarak ya Kurma ya da Silme tipinde olurlar.

Hem aracı hem de Kernel eylemleri denetleyiciye gönderilen bir listede toplanır. Eylemler, denetleyici saykılıyla senkronize edilir ve hareket motorlarının içinde kullanılmadan önce uyarılara dönüştürülür.

Kernel ve aracıdan gelen hata eylemleri normal eylemler gibi direkt olarak denetleyiciye geri gönderilmez. Denetleyici, hata toplayıcıda yer alan hata sınıfından bilgi alır.

Sistem ile denetleyici

Kullanıcıdan gelen girişleri ve sistemin geri kalan kısmı buton bayraklarının formunda sağlanır. Bunlar tüm fiziksel butonların hareketini ve kullanıcı sensörlerini temsil eder.

Kullanıcı arayüz geri beslemesi çeşitli eylemleri uygulamak için denetleyici tarafından kullanılır. Bunların büyük kısmı kullanıcı için görsel işitsel geri besleme sağlar. Örneğin bip ikazı, mesaj gösterme ve ikonlar. Kullanıcı giriş işleyicisi (UI Handler) olarak bilinen ana sistem kontrolcüsü de (MSC) çalışan ayrı bir yazılım görevi tüm kullanıcı arayüz eylemleri işlevini görür.

Bilgi transfer istemleri aracı tarafından işlem için onu CTP'ye göndermek ve bilgi sağlamak için kullanılır. Denetleyici, aracı tarafından bunlar uygulandığı için aynı tip hesaplamaları uygulamak için dizayn edilmemiştir. Denetleyici, geçerli bilgiler sık sık öngörülü bir durumda bulunan sisteme dayalı olduğu için bunu aracıya sağlamak ve bilgi toplamak için yinede sorumludur. Genel olarak kullanılan bilgi transfer istemleri enstrüman bilgisi ve potansiyometre bilgisidir.

4.2.3. Algoritma çeşitleri

Davranışsal algoritmalar – sınırlı durum makineleri / ilkel davranışlar

Tekli sonuç karşılıklarına özel adım adım uygulamalar. Bu algoritmalar kesin ölçütlerde karşılık bulur ve dolayısıyla gerçek zaman içinde kullanılamaz.

Amaç: Butonlara tepki göstermek, davranışlar yaratmak, kavramak, kilitlemek, alet değişimi vs.

Hız: Tekli örnekler, ihtiyaç duyulduğunda ve gerektiğinde tepki göstermek.

Girişler: Butonlar, ayak pedalları, iç olaylar.

Çıkışlar: 1- Sesler, ikonlar, yazılı mesajlar

2- Sistemin duyusunun değişmesi, ihtiyaç olan mekanizmaların hareketi

Kullanım: Hedefi bulan "homing", steril adaptör tutturmak, alet değişimi, kavramak, kötülemek, alet sonu.

Performans algoritmalar – gerçek zaman işlemli

Sürekli sensör okuma ve motor sürme. Sürekli tekrarlanan gerçek zamanda işlemler.

Amaç: Normal işlemi sağlar, tüm mekanikleri kontrol eder. Sistemin duyusunu yaratır.

Hız: Servo oranı gerçek zamanda (750 usn)

Girişler: Öncelikli (ana) sensörlerin incelemeleri

Çıkışlar: Tahsis içerisinde mekanikleri motorlara komu göndererek hareket ettirmek, tarzı sağlamak.

Kullanım: Servo döngü, Yerçekimi Cal, Ana-Yan, Kamera- Referans, Kamera-Kontrol, Güç Geribildirimi, Güç- Kavraması

Güvenlik algoritmaları- gerçek zaman işlemli

Sürekli sistem izleme ve sistem hatalarında müdahale etme. Algoritmalar gerçek zamanda işlem yürütürler.

Amaç: Olumsuz durumları inceleme ve tepki verme, yazılımsal veya donanımsal.

Hız: Sürekli çalışma, çok hızlı

Girişler: Tüm sensörlerin incelemeleri ve iç sinyaller.

Çıkışlar: 1- Normal işlemleri durdurma.

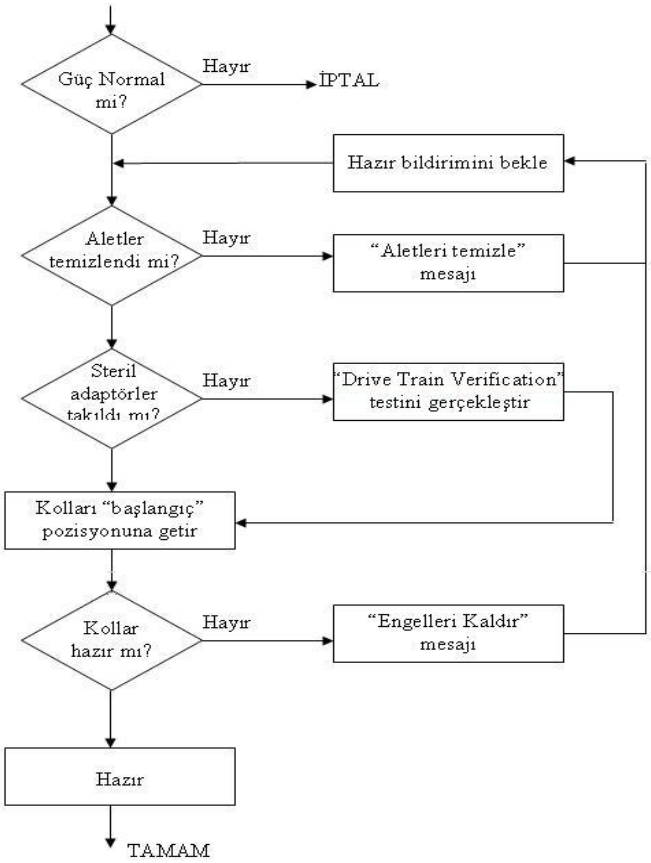
2- ESTOP sistem (acil durdurma sistemi, imkanlar dahilinde)

3- Sonraki tanılar için hata kaydetme.

Kullanım: DAFD (MVT, CRT, MCL), Pot-Kodlayıcı, FDFD

4.2.4. Davranışsal algoritma örnekleri

Hedef bulma



Şekil 4.12. Hedef bulma algoritması

Amaç: Tekrarlanan başlangıç noktasına ulaşmak ve kesin permorfans için güç verildikten sonra, kolları bilinen alana hareket ettirmek ve kalibre olmak.

Girişler: READY butonu, sistem konumu

Çıkışlar: Normal işlem (veya iptal)

İstekler: 1. Sistemin hakkıyla çalışması

2. Aletlerin kaldırılmış olması

3. Kolların harekette özgür olmaları.

Alet değişimi



Şekil 4.13. Alet değişimi algoritması

Amaç: Aletlerin çabuk değişimini sağlamak.

Girişler: Alet duruşu ve çipi, kavrama butonu, sistem durumu

Çıkışlar: Yeni alet ile normal işlemler.

İstekler: 1. Geçerli alet

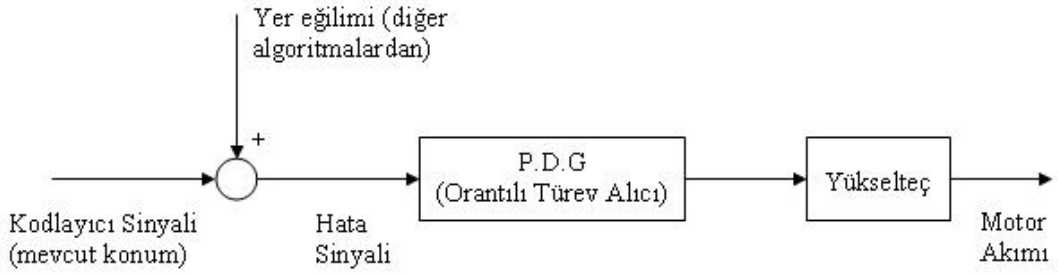
2. Alet çipine elektriksel bağlantı.

3. Mekanik isteğin hazırlanması

4. Alan çalışmasında yardımcı kılavuzluk

4.2.5. Performans Algoritmaları Örnekleri

Servodöngü(P.D.)



Şekil 4.14. Servodöngü algoritması

Amaç: Harekete karşı koyan motor akımını uygulamak ve tork oluşturmak, kolu kilitlemek / sabitlemek.

Girişler: Kodlayıcılar

Çıkışlar: Motor akımları

İstekler: 1. Kodlayıcılar uygun değerleri okur. (iki yönde de)

2. Motor akımı dağıtılmıştır. (yükselteçle)

3. Yönler düzgün tellendirilmiştir.

4. Mekanik bağlantılar tamam olmalıdır.

Master-slave (ana-bağımlı)



Şekil 4.15. Ana – bağımlı üniteler arasındaki algoritma

Amaç: Cerrah kontrol kollarını hareket ettirdikten sonra, bağımlı üniteninde aynı doğrulukta hareket etmesi.

Girişler: Kontrol kolları pozisyonu

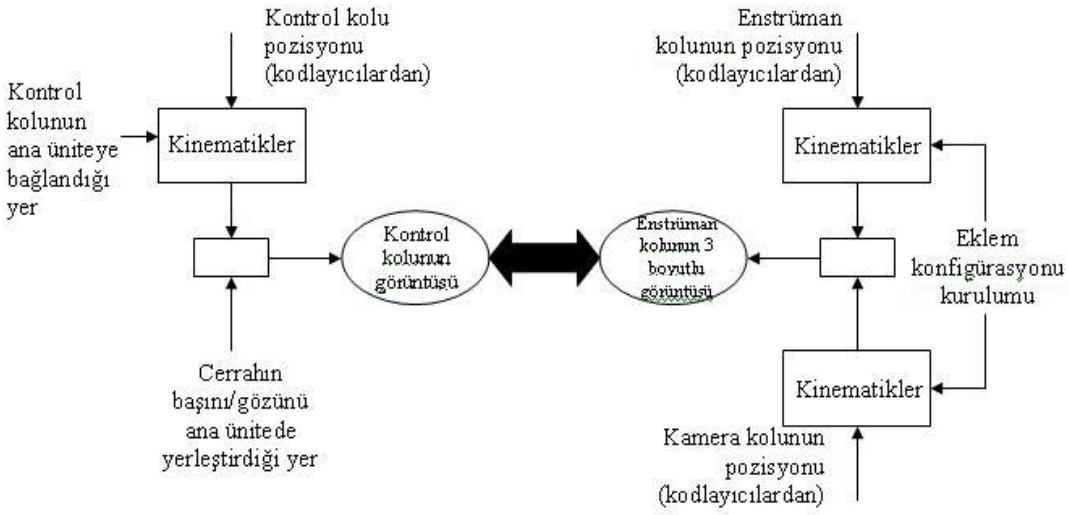
Çıkışlar: Bağımlı ünitenin komutlanmış pozisyonu

İstekler: 1. Kontrol kollarının pozisyonu düzgün okunur. (kodlayıcılar ile)

2. Bağımlı PD denetleyici çalışır.

3. Tahsisli kullanıcı girişleri tarafından bağlantının açılması. (davranışsal algoritmalar tarafından.)

Kamera referans kontrol



Şekil 4.16. Kamera kolunun kontrol algoritması

Amaç: Cerrah ile doğal hareketleri sağlamak, böylece aletlerin görüntüsü cerrahın eli gibi hareket eder.

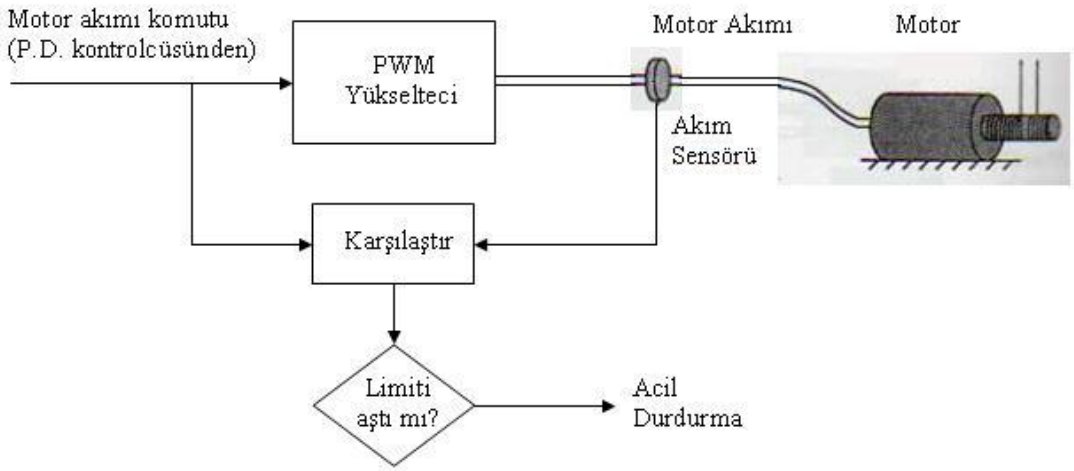
Girişler: Master kodlayıcı, Slave kodlayıcılar, eklem potlarının ayarı.

Çıkışlar: Master görüntüsü, slave resmi.

İstekler: 1. Tüm sensörlerin kesin okunması
2. Tüm kalibrasyonların kesin olması
3. Tüm kolların kesinlikle başlangıçta olması
4. Scope seçimi ve kurulumu tahsislidir.
5. Görüntü sistemi çalışır.

4.2.6. Güvenlik algoritmaları örnekleri

DAFD(data kazancı ve hata bulma) / komut yanıt takibi



Şekil 4.17. Data kazancı ve hata bulma algoritması

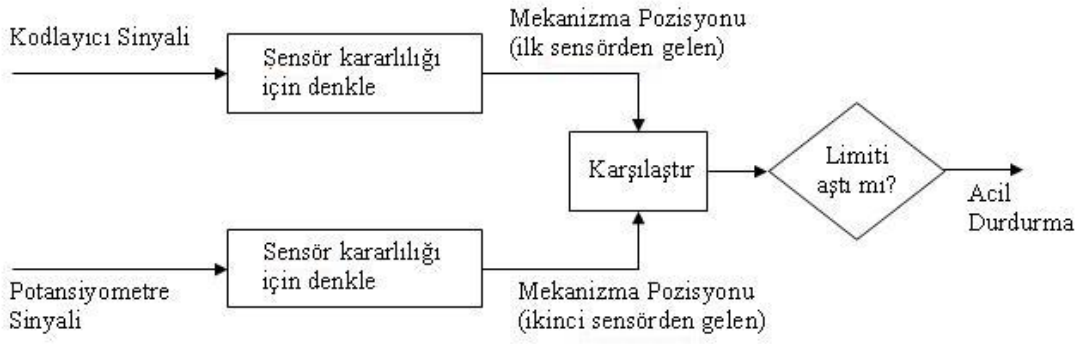
Amaç: Komutun motor akım eşleniğinin doğruluğunu kanıtlamak, aksi takdirde acil durdurma sistemi (ESTOP sistemi).

Girişler: Motor akım komutu ve ölçümü

Çıkışlar: ESTOP ve log alma.

İstekler: 1. Yükselteçler doğru çalışıyor.
2. İyi elektriksel bağlantı.
3. Motorun çalışması
4. Doğru konfigüre edilmiş parametreler.

Pot-kodlayıcı karşılaştırması



Şekil 4.18. Pot – Kodlayıcı karşılaştırma algoritması

Amaç: Birincil ve ikincil sensörlerin eşlenik doğruluğunu kanıtlamak, aksi takdirde ESTOP sistem.
Girişler: Birincil (kodlayıcı) ve ikincil (pot) sensörler
Çıkışlar: ESTOP ve log alma.
İstekler: 1. Her iki sensörde çalışıyor.
2. İyi elektriksel bağlantı.
3. İyi kalibrasyon
4. Mekanik bağlantılar tamam.

4.3. Sistem Ağları ve Düğüm Noktaları

Bu bölümde daVinci'nin elektronik mimarisinin blok diyagramı, sistem düğümleri, yükleyici çipler, uygulama çipleri ve flash olmayan çipler arasındaki farklar, daVinci sistemi içindeki veya dışındaki tüm iletişim yolları ve manipülatörden gelen ve pozisyon komutlarının transferinde kullanılan yol açıklanacaktır.

4.3.1. Temel ağ görünüşü

Bu bölümde kullanılacak bazı terimlerin açıklamaları şöyledir:

Gerçek Zaman: Kurulan üst sınır ile sistem tek saykılda çalışır. Eğer üst sınırlar konulmazsa, sistem hata verir.

Servo Oranı: DSP için geçen zaman miktarı, data okuma, data işleme ve sonra dış komut sinyallerini göndermedir. daVinci'de 750 mikrosaniyedir.

Watch Dog: Herhangi bir aygıt, uygun performans için diğer aygıtı izler.

Mikroişlemciler/Mikrodenetleyiciler: Bileşimsel ve basılmış devre topluluğunun (Printed Circuit Assembly- PCA) kontrol ünitesidir. Mikroişlemci bir elektronik devredir, yorumlar ve komut yürütür. Mikroişlemciler komut getirme, çözme ve komut yürütme yeteneğine sahiptir ve başka kaynaklardan sistem ana data transfer yolunu kullanarak ki buna BUS denir, bilgi transferi yaparlar. Kısaca, mikroişlemci bir entegredir ve PCA'nın fonksiyonlarıyla en iş gören elemandır.

Bus Master: Hafıza içinden veya dışından data transferi yapan diğer mikroişlemcileri kontrol eden mikroişlemcidir.

Alt (Yan) Düğümler: Diğer mikroişlemciler ana mikroişlemci tarafından kontrol edilirler. Yardımcı düğümler bir ağ üzerinde birden fazla olabilirler.

Bus Master / Alt Düzen: Bus Master diye adlandırılan bir mikroişlemciden oluşan sistem alt (slave) diye adlandırılan başka bir aygıtı kontrol eder.

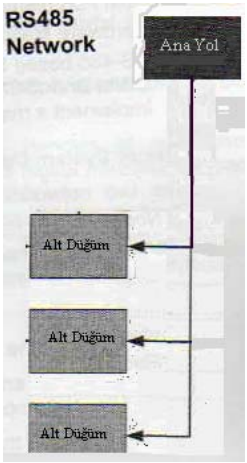
Bus (Yol): Yazılım sisteminin elemanları arasındaki data transferinde kullanılmak üzere yapılandırılmış donanım hatlarıdır. Bus aslında paylaştırılmış yollardır ki sistemin içerdiği Mikroişlemci, hafıza ve giriş-çıkış portları gibi farklı parçaları birbirine bağlar ve onları transfer bilgisi için aktif hale getirir. Bus hatların özel

gruplandırılmasıyla oluşur ki çeşitli tipte bilgiler taşımada kullanılır. Bir grup hat bilgi taşır, başka grup hafıza adresleri taşır ki burada data bulunmaz, ve bazıları da sadece kontrol sinyalleri taşır.

Çift Portlu Hafıza: İki mikroişlemci arasında bilgi değişimi yapabilen arabirime sahip çoklu lokasyonlu geniş hafızalardır.

Donanımsal Posta Kutusu: İki mikroişlemci arasında bilgi değişimi yapabilen tek lokasyonlu küçük hafızalardır.

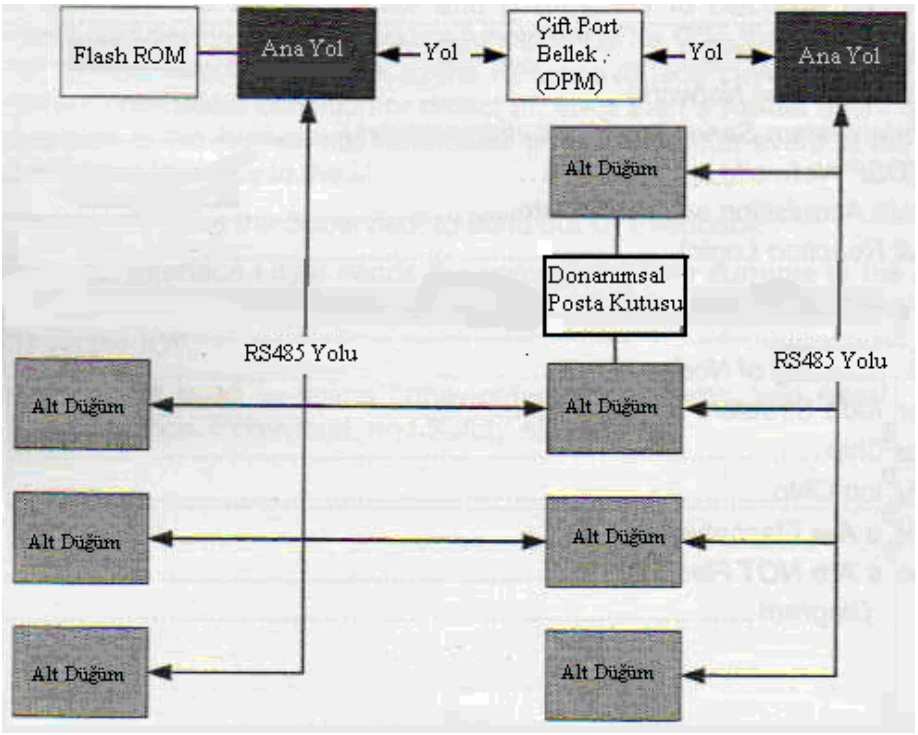
RS485 Seri İletişim Ağı: Ayarlanan protokol üzerinden birden fazla mikroişlemciyi birbirine bağlayan ara birimdir. Bus master tarafından kontrol edilir.



Şekil 4.19. RS485 ağı

ROM: Sadece okunabilir bellektir. Data veya kodlar yarı iletken devre içerisine bir kez yazılır. Bu bilgilere ulaşılarak okunabilir ama değiştirilemez.

Flash ROM: Değişken hafızadır. Kod, data ve hata logları saklamada kullanılır. ROM'a benzer fakat değiştirilebilir.



Şekil 4.20. Seri iletişim ağı

4.3.2. Sistem ağları

Ağ İzleme (MNet – Monitoring Network)

MNet iki ağdan oluşur (UINet ve ISCNet). MNet izlemeyi gerçekleştirir ve daVinci sisteminin fonksiyonlarını kontrol eder.

Kullanıcı Arayüz Ağı (UINet), temel olarak kullanıcı aktivitelerini raporlamada ve buton kullanımlarının geri dönüşümlerinde ve ikon göstergelerinde kullanılır.

Genel Sistem Seri İletişim (ISCNet), temel olarak sistemin sağlığının izlenmesinde, toplam olumsuzlukların UINet ile paralel çalışmasında kullanılır.

Her bir ağ bir Bus Master'a ve çeşitli alt düğümlere sahiptir. Bus Master ağı çalıştırır, fakat bunu yaparken periyodik aralıklar ile alt düğümlerden onay alır. 35 ms ISCNet için, 25 ms UINet için, RS485 ağları, onların bulduğu hatalar servo

oranıyla bağıntılı olan ani bir eyleme gerek duyurmadığından dolayı servo oranında çalışmaya ihtiyaç duymazlar.

İki mikroişlemci arasında MNet üzerinden iletişim kurulmasında tanımlanan aşağıdaki yollar kullanılır;

- Çift portlu hafıza
- Donanımsal posta kutusu
- RS485 tabanlı seri iletişim bus'ı.

MNet içerisinde ikiden fazla bus vardır UINet ve ISCNet. Bu bus'lar ana-alt ağı tanımlamak için MNet Bilgi Protokolü (MIP) kullanırlar.

Master Sistem Denetleyici (MSC)

İki ağ SCP board üzerinde master sistem denetleyici mikroişlemcisine beraber bağlıdırlar.

MSC iki ağ master'ına bağlıdır (UMC ve IMC) ve CTP çift portlandırılmış hafızalar üzerindedir.

MSC;

- Sistem yöneticisi gibi hareket eder.
- Hata toplama ve log tutma, izleme araçlarını ve genel sistem ağ izlemesini yerine getirir.
- İçerdiği "UI Handler" ile yüksek seviyede kullanıcı arabirim isteklerini yerine getirir ve uygular. (Sesler, ledler, displayde yazı vs..)
- XCI ile sistem yapısının dışındaki veya içindeki harici iletişimleri kontrol eder.

<u>UINet (Kullanıcı Arayüz Ağı)</u>

UINet kullanıcı girişlerinin izlenmesi için güvenilirdir (çeşitli düğme konumları, röle

aktiviteleri vs) ve sistemin işlem durumu hakkında (UI Handler) kullanıcıya yetkili görsel ve işitsel geri dönüşüm sağlar.

UINet aşağıdakilerden oluşur;

UINET Master Denetleyici (UMC)

UINet bus master'dır. UMC UI ağının master'ıdır. UMC denetleyici, UINet üzerindeki tüm data transferlerinin koordinasyonu için güvenilirdir.

UINet İletişimler Yolu

RS485 seri iletişimler yolu UINet Master ile diğer UINet üzerindeki denetleyiciler arasında iletişime izin verir.

UINet Alt Düğümleri

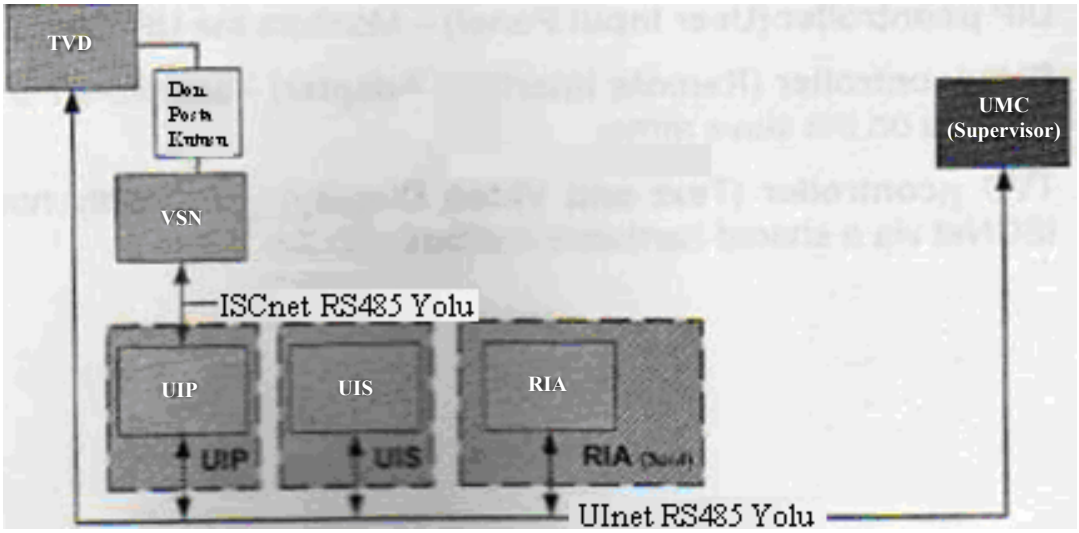
Bütün UINet alt düğümleri ISCNet üzerinde bulunurlar.

UIS mikrodenetleyici (Kullanıcı Giriş Durumu): İdare edilen ayak pedal girişi, stereo izleyici aşağı/yukarı kontrolü ve ses üreteci.

UIP mikrodenetleyici (Kullanıcı Giriş Paneli): İdare edilen tüm buton girişleri UIP'dan gelen ve led displaylerin kontrolü.

RIA mikrodenetleyici (Uzaktan Arayüz Adaptörü): İdare edilebilen tüm kol buton istekleri, dijital iletişimin sistem şasesine geri dönmesi için analog sinyal durumları.

TVD mikrodenetleyici (yazı ve video görüntüleyici): VSD kart üzerinde konumlandırılmıştır. TVD idare edilen yazıyı ve ikon mesajlarını ekranda gösterir. TVD VSN'deki posta kutusu yolu ile ISCNet'e doğrudan olmasa da bağlıdır.



Şekil 4.21. UINet blok şeması

ISCNet (Genel Sistem Seri İletişim Ağı)

ISCNet daVinci alt sistemlerinin güvenliğini ve güvenilirliğini izlemek için kullanılmıştır. UINet ile paralel çalışır ve istenilen işlem için sistemi güvenilir kılar.

ISCNet Bus Master

ISCNet master denetleyici ağın master'ıdır. Durum için tüm düğümlere onay verir, ayrıca ileri işlem ve yorum için MSC'ye bir takım değişiklikler gönderir. IMC denetleyici ISCNet'in direkt kontrolüne sahiptir. Bununla birlikte bazı sahip olduğu kararları almakta UMC'ye benzemez. IMC'nin kararları MSC tarafından kontrol edilir.

ISCNet İletişimler Yolu

RS485 seri iletişimler yolu, bus master ve ISCNet'i oluşturan denetleyicilerin arasındaki iletişime izin verir.

ISCNet Alt Düğümleri

ISCNet düğümü en önemli daVinci alt sistem kartı üzerinde bulunur. Her bir denetleyici kart tipinin özel fonksiyonlarının izlenmesini sağlar ve MSC'deki durum bilgisini IMC master yoluyla işledikten sonra raporlar.

Tüm UINet düğümleri ISCNet yolu üzerindeki alt düğümlerdir. ISCNet, UINet içindeki hata durumu içinde arıza bilgisi ifade eden göstergeleri sağlamakta ayrı bir iletişim yolu olarak kullanılabilir.

Sonuçta bu UINet sistemi ile iletişim sağlayamaz. UIP UINet hatasını gösteren yüksek perde bip sesi yayınlayacaktır.

MSD mikrodenetleyici (Motor Servo Sürücü): DAFD modülünü izler.

IOD mikrodenetleyici (I/O Dağıtıcı): IOD kartını izler.

VSN mikrodenetleyici (VSD Alt Düğüm): VSD kartı üzerindeki video fonksiyonlarını izler ve kontrol eder.

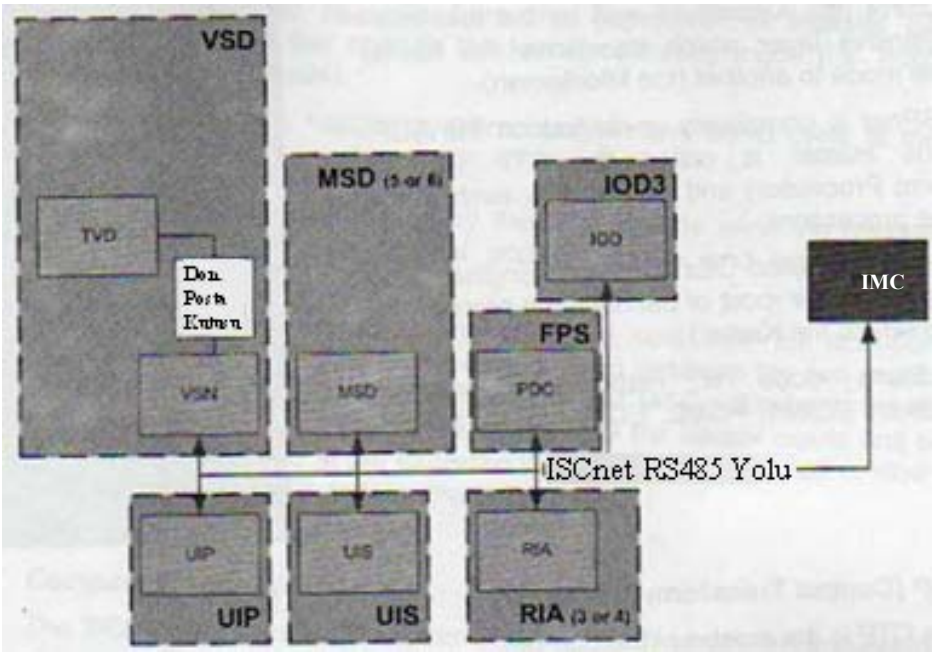
PDC mikrodenetleyici (Güç Tanımlama Denetleyicisi): Fan Güç Kaynağı boardunun güç uygulama fonksiyonlarını izler.

UIS mikrodenetleyici (Kullanıcı Giriş Durumları): UIS kartını izler.

UIP mikrodenetleyici (Kullanıcı Giriş Paneli): UIP kartını izler.

RIA mikrodenetleyici (Uzak Arayüz Adaptörü): RIA kartını ve alt kollardaki sensörleri izler.

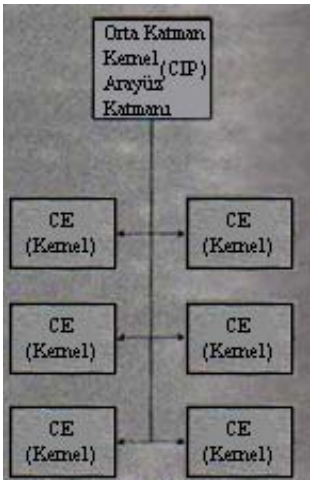
TVD mikrodenetleyici (Yazı ve Video Görüntüleyici): VSN ile ISCNet ile paylaştırılmış donanımsal posta kutusunu dolaylı olarak bağlar.



Şekil 4.22. ISCNet blok şema

DSPNet (DSP Ağı)

DSP ağı servo döngü kontrolünün (Kernel) gerçek-zaman parçasının yerine getirilmesinden sorumludur. DSPNet tamamen SCP tarafından kapsanmıştır. Düğümler CEs (Compute Engines) olarak çağrılmıştır ve çok önemli gerçek-zaman işleminden sorumludurlar. Her düğüm bir manipülatörden sorumludur.



Şekil 4.23. DSPNet ağı blok şeması

CTP (Kontrol Çevrim İşlemcisi)

CTP, DSPNet'in master'ıdır. CTP 2 büyük önemli görev ile çalışır, bir yüksek öncelikli, iki düşük öncelikli.

Kernel arayüz katman görevi: Yüksek öncelikli görev Kernel Arayüz katmanıdır. Kernel'in yüksek öncelikli görevi, gerekli sağlıklı izleme algoritmalarının Kernel içinde çalıştırılmasıdır. Kernel arayüz katman görevi servo oranında gerçek-zamanda çalışır. Yeni giriş sensör değerlerini donanımdan alır, verileri düzenler ve sonra işlem için doğru CE'ye gönderir. Ayrıca CE'nin her birinden gelen geri dönen servo çıkışlarını alır ve onları doğru MSD karta gönderir. Ayrıca, bu görev içinde hata ve düzeltme olayı için CE her bir servo döngüsünden gelen hata bayraklarını kontrol eder. Tüm hataları toplayarak, hata sonucunu ve olayı MSC'ye gönderir. Kernel arayüz katmanı ayrıca peek/poke arabiriminin arkasında çalışarak en önemli çalışmasını yerine getirir ki bu da Middleman ile Kernel'i birbirine bağlamaktır.

Middleman Görevi: Middleman CTP işlemcisinde düşük öncelikli görevdir. Arka planda çalışır, gerçek-zaman Kernelinin servis sağlama görevinin arkasındadır. Bu DSP'yi yürüten yöneticiden gelen isteklere tepki verir ki kernel işlem modunu değiştirir. Poke zamanında bir servo saykıl içinde tüm değişiklikler senkronize olmaktadır.

Diğer küçük görevler CTP tarafından ele alınmıştır ki çift kanallı hafıza üzerinde MSC yolu ile UMC'den gelen servis mesajlarını içerir ve MSC işlemcisini işlem takibine getirir (watchdog).

MSC ile CTP arasındaki mesajlar çift kanallı hafıza arayüzü üzerinden gönderilir. Periyodik watchdog mesajı iki mikroişlemci arasında gönderilir, MSC'nin sağlığında gözü korumak için CTP'ye izin verir. Benzer şekilde, SCP kartı devamlı CTP'yi izler ve sensör girişleri ile servo çıkışlarındaki beklenilen servo oranı okuması ve geri dönmesinden emin olur. CTP tarafından bazı teslimat noktaları ve iş yavaşlatmaları FRL'nin koruyucu hareket etmesine sebep olacaktır.

Hesaplama Makineleri (Compute Engines - CEs)

SCP kartı altı hesaplama makinesine sahiptir ve her bir manipülatör için Kernel algoritmalarını tamamlar. Her bir hesaplama makinesi, CTP'den gelen ön izlenmiş form içinde giriş sensör bilgisini alır ve servo sürücü çıkışı olarak döndürür.

DAFD (Veri Kazancı ve Hata Bulma)

DAFD modülü her bir motor servo sürücü (MSD) kart üzerindeki DSP'lerden (dijital sinyal işlemcileri) oluşmuştur.

DSP yüksek hız data manipülasyonu için tümleşik devre olarak dizayn edilmiştir. DSP her iki yükseltecin çok iyi izlenmesinden sorumludur ki buna servo motor ve kablolama da dahildir. DSP'deki algoritmalar voltajı ve motora giden akımın yanı sıra yükseltece giden komut sinyalini de gösterir. Bu ölçütleri karşılaştırarak, bağlantı ve motor modellerine bunları uygulayarak, yükselteç ve motorların sağlıklı olup olmadığını algoritmalar saptayabilir.

Bu modül hatalı yükselteci yakalayabilir, kısa ve açık motoru, hatalı kablo bağlantısını ve aşırı ısınmış motoru bulabilir. Eğer olumsuzluklar olursa, DAFD FRL'ye ulaşır ve direkt olarak yükselteçler kapatılarak kontrolsüz hareket önlenir.



Şekil 4.24. DAFD modülü blok şeması

FRL (Hata Tepkisi Mantığı)

FRL yazılım modülü değildir, fakat daha çok donanım ve aygıt yazılımı (firmware) toplamıdır ve sistem için güvenlik korumasını en alt seviyede sağlar.

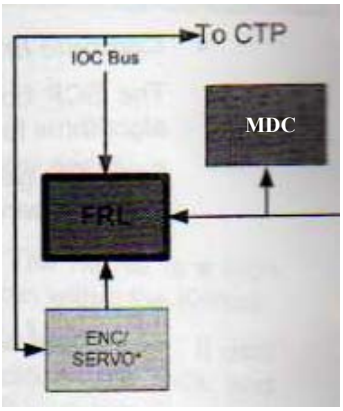
FRL, bir hata meydana geldiğinde, yükselteci devre dışı bırakan ve frenlemeyi açan donanımdır.

CTP'den gelen komutlarla veya MSC vasıtasıyla harici mandalların (latch) kontrolüyle bir hata ile karşılaştıklarında işlemci, FRL'nin koruyucu bir eylem yapmasına neden olur. MSC, FRL'nin bulduğu hata kaynaklarını saptamak için FRL'nin durumunu okuyabilir.

FRL, aşağıdaki eylemleri kontrol eder;

- MSD elektronik fren hatları (motor ani frenlemesi)
- RIA mekanik fren kontrol hatları
- MSD servo yükselteç hatlarını aktif eder.

MSC'nin bu hatları açan ve kapatan harici mandal (latch) kontrolü vardır.



Şekil 4.25. FRL modülü blok şeması

Yükselteçleri aktif hale getirmek için hiçbir donanım hatası mevcut olmayabilir ve hem MSC hem de CTP işlemcileri sistemi sağlıklı kılmak için bir arada çalışmalıdır. Bu durumlardan herhangi birisi ile karşılaşılması durumunda yükselteçler aktif hale getirilemez. Buna ek olarak FRL, CTP işlemcisinin yanı sıra diğer donanım sorunlarını da takip eder.

4.3.3. Düğüm Yapısı

Düğümlerin Flash Programlanması

daVinci sistemi üzerindeki bazı düğümler flash programlanabilirler. Flash programlama esnasında, entegre uygulama kodu entegreye bir bilgisayar yardımıyla yazılır. Entegrenin güncellenmesinde ve kullanımında yer değişime gerek yoktur. Flash programlamayı aktif kılmak için, entegrenin PCA'sı üzerindeki jumper ve anahtarların konumunu değiştirmeliyiz.

Flash programlanabilir düğümlere ihtiyaç duyulma sebepleri şöyle sırlanabilir;

- Azda olsa fiziksel entegre yer değiştirmeleri
- Şaseden gelen PCA'ları kaldırmak zorunda kalmamak
- Arızalı PCA'ların değişimi
- Servise ihtiyaç duymamak

Programlanabilen Düğüm Yapısı

Programlanabilen düğümler iki entegre ile yapılmıştır. Yükleyici entegre ve uygulama entegresi. Programlanamayan düğümler ise tek işlemci entegresi içerir.

Yükleyici Entegre

Yükleyici entegre düğüm için başlatma ve kendi kendini test etme talimatlarını kapsar. Yükleyici kodu, genellikle bunların kodları, birinden diğerine değişmediği

için yer değiştirmelere nadiren ihtiyaç duyulur.

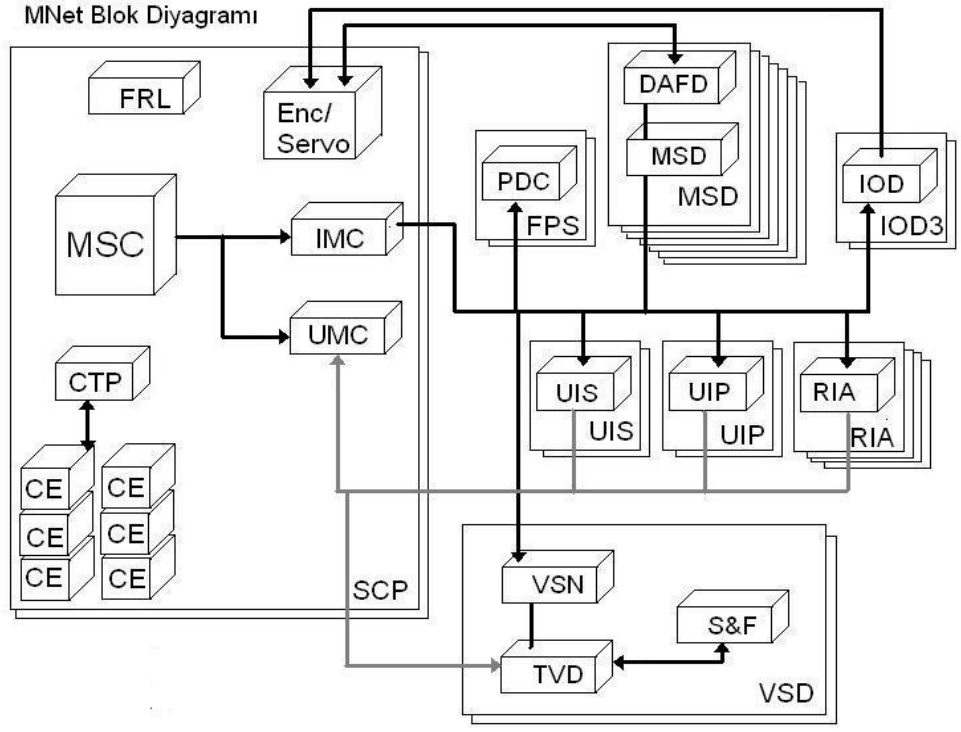
Yükleyici entegre flash değildir. Eğer kodunun değiştirilmesine gerek yoksa manuel olarak yeri değiştirilmek zorundadır.

Uygulama Entegesi

Uygulama entegresi düğüm için çalışma zamanı talimatlarını kapsar. Bu çalışma zamanı komutları (uygulama kodları) olası istenilen revizyonlardır.

Uygulama entegresi programlanabilir. Eğer uygulama entegresi flash programlanabiliyorsa, düğüme de programlanabilir gözüyle bakılabilir.

MSC, UMC, VSN, CTP, IMC, RIA, TVD, CE uygulamaları ve ROM entegresi programlanabilir; tüm yükleyici entegreler, IOD, UIP, MSD, PDC, DAFD, UIS programlanamaz entegrelerdir.



Şekil 4.26. MNet blok şeması

4.4. Sistem Devreleri ve Operasyonların Teorisi

Bu bölümde daVinci sisteminde bulunan devreler ve bu devrelerin özellikleri, çalışmaları anlatılmaktadır.

4.4.1. Elektronik kontrol güvenliği

daVinci ameliyat robotunda güvenlik ve güvenirliliği sağlamak için sistem elektroniği aşağıdaki gereksinimleri karşılayacak şekilde dizayn edilmiştir.

- Tam güvenlik gereksinimleri
- Yüksek güvenirlik
- Yüksek performanslı motor sistemi
- Kaliteli ana/bağımı (master/slave) ünite kontrolü
- Hareket ölçeği
- Master ve slave arası mantıksal kontrolü sürdürecek algoritmalar
- Tam entegre sistem
- Cerrah konsoluna entegre edilmiş bütünleşik elektronik düzenek
- Batarya beslemeli tıp sınıfı güç kaynağı
- daVinci sisteminde güvenilir bağlantı

4.4.2. Motor yolu PCA'lar

SCP – sistem kontrol işlemcisi

SCP; kodlayıcıları, sensörü ve diğer sinyalleri çalıştırır ve tüm motor kontrol algoritma hesaplamalarını uygular ve sistem güvenlik koordinatörü gibi çalışır.

Gerçek zamanlı motor işlemcisi ve kontrolü

CTP (uyum ve şekil değiştirme işlemcisi)/CE (hesaplama makineleri)

Manipülatör konumunu, hızı ve diğer sensör giriş verisini çalıştırır ve tüm motor kontrol hesaplamalarını yapar.

PVP (konum ve hız işlemcisi) FPGA

Değişen konum, hız ve sabit konum hesaplamasını gerçekleştirir.

SPL (motor işlemci mantığı) FPGA

Besleme konunu ve diğer sensor datayı çalıştırır. FRL içerir. Motor sürücü kontrolörü içerir, MSD D/A dönüştürücülerini kontrol eder.

Sistem denetçisi ve hata göstergesi (master sistem kontrolörü)

MSC (master sistem kontrolörü)

Sistem denetçisi ve MNet bus master olarak çalışır. Hata göstergesi ve sürekli MNet girişlerini değerlendirir.

Harici sistem iletişim kontrolü (MSC)

MSC (master sistem kontrolörü)

Sistemin içine ve dışına giden harici iletişimi kontrol eder. MSC SCP arası XCI bağlantısını XCI boyunca sağlar. MSC harici iletişimi kontrol eder; XCI harici iletişim için bir erişim noktası olarak hareket eder.

Yerleşim

SCP cerrah konsolu içindeki elektronik şaseye yerleştirilmiştir.

Düğümler

MSC - master sistem kontrolörü

Sistem denetçisi ve MNet bus master olarak çalışır. Hata göstergesi ve devamlı olarak MNet girişlerini değerlendirir. Sisteme olan harici iletişim giriş çıkışı kontrol eder.

CTP/CE – kontrol transform işlemcisi / hesaplama makineleri

Manipülatör konumunu, hızını ve diğer sensör giriş datasını çalıştırır ve tüm motor kontrol hesaplamasını yapar.

UMC – UINet Master Kontrolörü

UINet bus master. UINet master kontrolörü (UMC) UINetin masterıdır. UMC kontrolörü UINet üzerindeki tüm data transferinin koordinasyonundan sorumludur.

IMC – ISCNet master kontrolörü

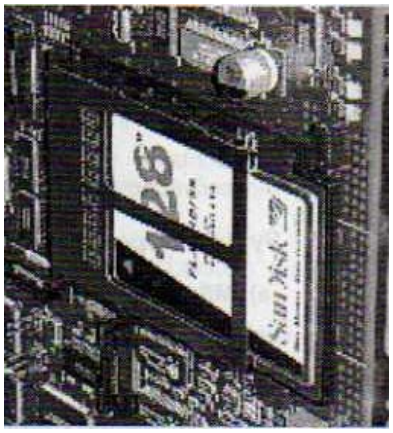
ISCNet master kontrolörü ISCNetin masterıdır. Daha sonraki işlemler için değişikleri MSC' ye göndererek tüm konumlandırıcı ISCNet düğümlerini yorumlar.

Diğer Cihazlar

PCMCIA Kartı

Çıkarılabilir 128 MB'lık hafıza kartıdır. Sistem kaydı ve konfigürasyon datası için

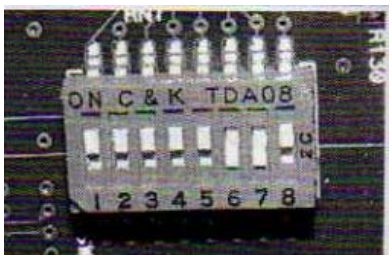
uzun dönemli hafıza kaydını mümkün kılar. Sistemin her kapatılışında, sistem kaydı ve kalibrasyon/konfigürasyon dosyaları PCMCIA'e arşivlenir.
PCMCIA operasyon sırasında sistem tarafından kullanılmaz. Bu sadece, kayıt ve kalibrasyon dosyaları için kullanılır.



Resim 4.17. daVinci'deki hafıza kartı

SCP Parametre Anahtarı

Sistem testi için SCP üzerindeki parametreleri ayarlar. Yeni bir SCP takılırken bu anahtarların doğru pozisyonda olduğundan emin olunmalıdır. 1, 5 ve 8 yukarı, 6 ve 7 aşağı pozisyonda olmalıdır.

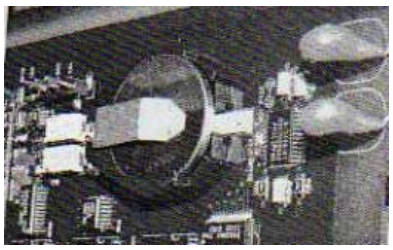


Resim 4.18. daVinci sistemindeki parametre anahtarları

Gerçek Zamanlı Saat (RTC) Devresi

Sistem saatini ayarlar. Sistemin gücü kapalıyken RTC değeri SCP üzerine takılı olan bir 3.3 Voltluk batarya ile beslenir. Sistemin gücü açıkken, RTC L3S güç kaynağı

boardının 3.3 Voltluk çıkışı ile beslenir. RTC değeri, konfigürasyon uygulamasının gerçek zamanlı saati vasıtasıyla ayarlanır.

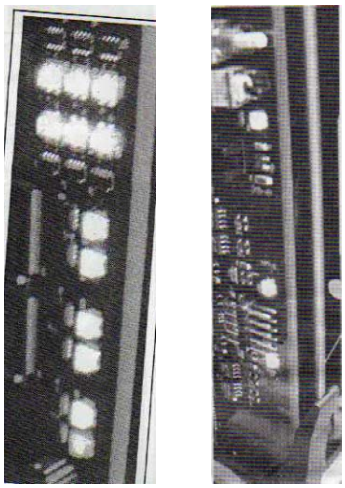


Resim 4.19. Gerçek zamanlı saat devresi

SCP LED'leri

SCP üzerinde on beş adet konum gösteren LED bulunur. Bunlar çift renkli LED'lerdir. Bu LED'ler ya turuncu-yeşil ya da yeşil-turuncu renginde yanarlar.

CE, CTP, SCP Modu, USB ve MSC için konum gösteren LED'ler PCMCIA kartı üzerine yerleştirilmiştir. FPGA çekirdek voltajı, IMC ve UMC için konum gösteren LED'ler PCMCIA'in alt kısmına yerleştirilmiştir.



Resim 4.20. SCP LED'leri

SCP LED'lerinin anlamları şöyledir;

CE Konum LED'leri: Her bir manipülatörle çalışan CE konumu

CTP Uygulama Başlatma LED'i: CTP uygulama çipi konumu

CTP Yükleyici başlatma LED'i: CTP yükleyici çipinin konumu

Donanım konum LED'i: SCP üzerindeki belli anahtarların, CTP'lerin uygun olarak konfigüre edilip edilmediğini gösterir.

USB Data Değeri LED'i: USB yoluyla MSC' ye giden veya gelen data akışının değerini gösterir.

MSC yükleyici/uygulama kalp atışı LED'i: MSC düğüm konumu.

MSC donanım/hata kaydı LED'i: MSC hata kaydının konumunu ve MSC bağlantılı donanım hatalarını gösterir.

FPGA Öz (çekirdek) Voltaj Işığı: SCP FPGA lere sağlanan voltajların durumunu belirler.

UMC Durum Işığı: UMC yükleyicisinin ve uygulama çiplerinin durumunu belirler.

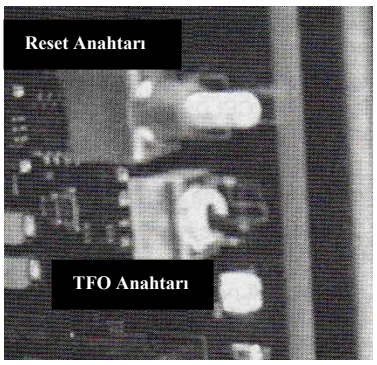
IMC Durum Işığı: IMC yükleyicisinin ve uygulama çiplerinin durumunu belirler.

SCP Sistem Yeniden Başlatma ve Zamanlamış-Hata gözetmeyen Anahtarlar

Sistem resetleme anahtarı: Bu anahtar, tüm şaselerdeki (FPS hariç) tüm kapakları kapatır ve tüm uzak alt sistemlerden gücü kaldırır.

Bu anahtar, XCI üzerindeki sistem resetle anahtarı ile aynıdır. Şasilerin kapakları kaldırılmadan takılı olan XCI anahtarına ulaşıldığı için, XCI sistem resetleme anahtarını kullanmak daha uygundur.

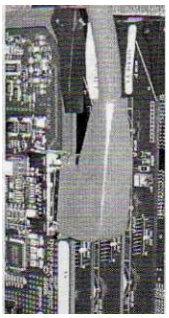
TFO Anahtarı: Bu anahtar sadece daVinci sisteminin uzman mühendisleri tarafından kullanılır. Her zaman aşağı pozisyonda bulunmak zorundadır. Eğer ki yukarı pozisyonda bulunursa sistem başarılı olarak başlamayacaktır.



Resim 4.21. daVinci sistemindeki TFO ve reset anahtarları

SCP – XCI Kablo bağlantı aparatı

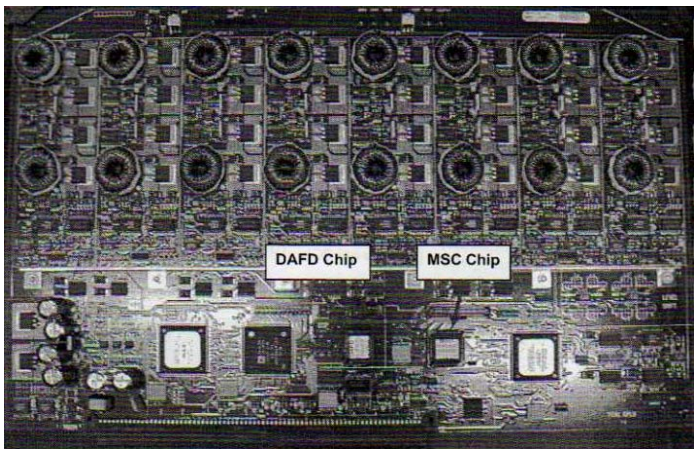
SCP–XCI arasındaki bağlantıyı SCP üzerindeki bağlantı noktasıyla sağlar. SCP–XCI tesisatı SCP üzerindeki XCI'dan MSC'ye olan tüm aktarımı sağlar. Sisteme girişte USB hata mesajları alınırsa bu bağlantı için, konektörler ilk kontrol edilmesi gereken yer olacaktır. Çünkü konektörler sıklıkla gevşeyebilir.



Resim 4.22. Kablo bağlantı aparatı

MSD – Çoklu Servo Sürücüsü

Çoklu servo sürücüler (5 veya 6 adet) toplam 48 akslı servo motor sürücüsü sağlar. Her MSD ünitesinin 8 servo amplifikatörü ve elektronik kontrol devreleri vardır. (Bunlar SCP den bir komut sinyali alıp, onu işe dönüştüren transistörler olarak ele alınmalıdır.) MSD, SCP tarafından gönderilen komutları kullanır. Bunu IOD vasıtasıyla MTM'lere ya da her alt ünite manipülatörü için RIA'lara gönderilen gerekli motor akımlarını yaymak için yapar. MSD'ler arızaya karşı yüksek seviyede güvenilir ve kapsamlı ünitelerdir.



Resim 4.23. daVinci devrelerinden örnek resim

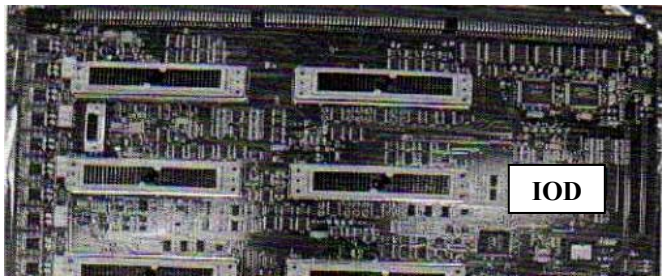
IOD3 – Giriş / Çıkış Dağıtımı 3

IOD3 boardının amacı tüm harici giriş çıkışları dahili elektronik devrelerle ara yüz olarak çalışmasına olanak sağlamaktır. Sinyaller, sistem ana kartı (SMB) yoluyla dahili konumlara gönderilir. IOD3, RIA (PSM/ECM) ve MTM'lere giden cerrah konsol şasesinden gelen tüm sinyalleri röleler ve tampon görevi yapar.

- MSD'lerden RIA ve MTM'lere giden sinyallerin geçişini sağlar. (sistem ana kartı boyunca)
- Ayrıca UIS'den SCP'ye giden kullanıcı girişlerinin geçişini sağlar. Kullanıcı girişleri, pedal paneli, UIP ve USP tarafından UIS'ye ulaştırılır.

- RIA/MTM'den SCP'ye giden, geliş konum sinyallerinin geçişini sağlar.
- Kodlayıcılar, tam konum potansiyometreleri ve RIA gücü için korumalı güç kaynağı görevini üstlenir. (Bu, gelen ve giden sinyaller için taşıyıcı bir bölüm olarak ele alınmalıdır.)

IOD2, ISCNet üzerinde iletişim kuran bağımsız bir kontrolördür. Bu kontrolör arızalar için korumalı güç kaynaklarını göstermekle sorumludurlar.



Resim 4.24. daVinci sisteminin giriş-çıkış dağıtıcısı (IOD)

RIA - uzak ara yüz devreleri

daVinci IS1200 sistemi üç ya da dört RIA devresi içerir.

- 3 kollu IS1200 sistemleri 3 RIA içerir. (# 1 - # 3 noktalarında) Bu RIA'lar RIA2 yada RIA3 olabilir.
- 4 kollu IS1200 sistemleri 4 RIA içerir.
- # 1 - # 3 arası noktalarda RIA'lar RIA2 ya da RIA3 olabilir.
- #4 noktasındaki RIA'lar, LIA montajının bir parçası olabilirler.

RIA'lar hasta bölüm kartının arkasına RIA bölümüne yerleştirilmiştir. RIA'lar aşağıdaki işlevleri yerine getirir:

- Korumalı lokal güç beslemesi (12V, +5V, -5V): 48Voltluk girişi 12V, +5V ve-5V'a dönüştürür.
- PSM/ECM ADC potansiyometrelerini besler.

- Başlangıç bağlantısını ayarlar ve ADC potansiyometrelerini besler.
- Fren ve serbest bırakma selenoid sürücüsünü ayarlar.
- Donanım arıza monitörü
- PSM / ECM kodlayıcı sinyal yönlendirme ve kodlayıcı güç kaynağı (5.2 V)
- Yapışkan servo motor frenlemesi: bir hata üzerine sistem, PSM/ECM motor armatürlerini kesmek için RIA'lara bir mesaj gönderir.
- PSM ve SUJ Dallas datasını işler.
- Araç değiştirme anahtarı göstergesi
- Alt ünite kavrama anahtarı göstergesi

LIA (LMA + RIA3) - Kaldırma ara yüz devreleri

LIA, üzerine LMA takılı olan bir RIA3'tür. LMA, 4. koldaki kaldırma motorunun ve fren selenoid gücünün kontrolü ve ara yüz elemanlarını sağlar. LIA sadece 4 kollu IS1200 daVinci sistemlerindeki RIA # 4 konumuna takılır. LIA montajının RIA elamanı aşağıdaki işlevleri görür:

- Korumalı lokal güç beslemesi (12V, +5V, -5V): 48Voltluk girişi 12V, +5V ve-5V'a dönüştürür.
- PSM/ECM ADC potansiyometrelerini besler.
- Başlangıç bağlantısını ayarlar ve ADC potansiyometrelerini besler.
- Fren ve serbest bırakma selenoid sürücüsünü ayarlar.
- Donanım arıza monitörü
- PSM / ECM kodlayıcı sinyal yönlendirme ve kodlayıcı güç kaynağı (5.2 V)
- Yapışkan servo motor frenlemesi: bir hata üzerine sistem, PSM/ECM motor armatürlerini kesmek için RIA'lara bir mesaj gönderir.
- PSM ve SUJ Dallas datasını işler.
- Araç değiştirme anahtarı göstergesi

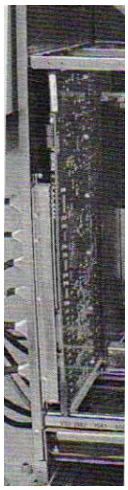
RIA tarafından uygulanılan işlevlere ek olarak, LIA'nın LMS elemanı aşağıdaki ek işlevleri uygular:

- 4. kol kaldırma motoru aktivasyonu denetimi: SJA3 Z- aks kontrol anahtarının konumunu denetler.
- 4. kol kaldırma motor sürücüsü ve yön kontrolü (aşağı- yukarı) : Z – aks kontrol anahtarının konumuna baz olarak SJA3 Z – aksının hareketini kontrol eder.
- Banket fren selenoid sürücüsü ve aşırı akım koruması: SJA3 aks Z frenine giden gücü kontrol eder.
- ESJ dizgi ADC potansiyometreler: ESC birincil ve ikincil dizgi potlarının konumunda işlev görür.
- Aşırı güç denetimi: birincil ve ikincil ESC dizgi pot hatalarının konumunu belirtir ve potlar arasındaki fark çok büyükse, aşırı yükü ortaya çıkarıp gösterir.
- Kaldırma motoruna güç veren 48-24 V arası regülatör
- Kaldırma motoru ve kaldırma anahtarı voltajı ve akım göstergesi

4.4.3. Kullanıcı ara yüz devreleri

VSD – Video Sinyal Dağıtımı

VSD kartıı giriş kamera sinyallerini işler ve bunları operatör enformasyonu veya hata duyurusu olarak gösterilen alfanümerik metin ile gösterilen 3D göstergesine yollar. Ek 2D çıkışları operasyon odasında ilave monitörler için sağlanır.



Resim 4.25. Video sinyal dağıtıcı (VSD) devresi

UIS – Kullanıcı ara yüzü: konum

Kullanıcı ara yüzü: konum (UIS) girişleri UIP, USP ve pedal panelinden IOD3 sistem şasesine yönlendirir. Ayrıca, sistem başlatılırken ana sensör LED'lerini kontrol eden girişi de kapsar.

UIP – Kullanıcı ara yüz paneli

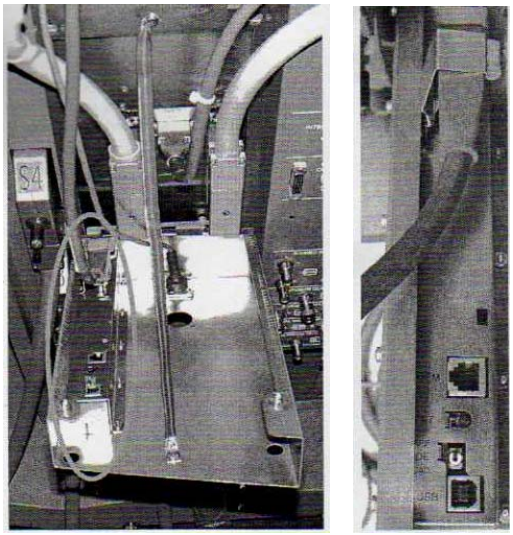
Kullanıcı ara yüz paneli sistem için ana kullanıcı ara yüzü olarak işlev görür. Bu, cerrah konsol koçağının sol tarafına yerleştirilmiş ve korumalı bir kabloyla UIS'ye bağlanmıştır.

XCI – Harici iletişim ara yüzü

Harici iletişim ara yüzü, PCA sistemin içine ya da dışına olan tüm iletişimler için bir bağlantı noktası olarak işlev görür. XCI, metal bir kalkan altındaki panelin içine yerleştirilmiştir. XCI, SCP – XCI kabloları vasıtasıyla SCP (MSC) ile iletişimi sağlar.

Panelin iç kısmındaki bağlantılar:

- SCP – XCI Kablo bağlantısı – SCP ile iletişim ara yüzü
- Modem portu – günümüzde kullanılmıyor
- Sistem sıfırlama anahtarı – FPS hariç tüm PCA'lardan gücü kaldırır. SCP'deki sıfırlama anahtarı gibidir.
- Yükleyici/Uygulama Anahtarı – anahtarlamayı mümkün kılan flash programlama
- USB portu –bilgisayar vasıtasıyla sistemle ara yüz oluşturmak için kullanılır.



Resim 4.26. Harici iletişim ara yüzünün dahili bağlantıları

Panelin dışındaki bağlantılar:

RS 232 Portu – Seri iletişim portu. API ara yüzü için kullanılır.
IEEE 1394 - Günümüzde kullanılmıyor. Geleceğe yönelik gelişmeler için ayrılmıştır.
10Base-T - Günümüzde kullanılmıyor. Geleceğe yönelik gelişmeler için ayrılmıştır.



Resim 4.27. XCI harici bağlantıları

4.4.4. Güç alt sistem devreleri

PPS – birincil güç kaynağı

PPS2, stereo göstergesi için 120VAC/230VAC ve bilgisayar ve servo elektronik devreleri için 48VDC sağlar.

48 VDC çıkışının batarya paket modülü (BMP) vardır ve ana AC/DC dönüştürücü arızası veya giriş AC güç arızası söz konusu olduğunda, kesintisiz DC akımı sağlamak üzere anahtarı değiştirir. Bataryaya geçiş anahtarlaması alçak hat durumu ile ve 48 V güç besleme arızası halinde otomatik olarak gerçekleşir. PPS2'nin 48Voltluk batarya şarj cihazı bulunur. (Şarj voltajı 54,6 VDC'dir.)

PPS içinde yer alan güç kaynağı akıllı kontrol kartı, sürekli olarak hem AC girişini hem de sisteme yollanan DC gücünü görüntüler. Bu voltajlardan birisi kesilirse, bataryaya ani bir geçiş olur ve sisteme yollanan DC gücünde bir kesinti olmaz. Operatöre sistemin bataryada çalışması önerilir. 5 saniye içinde güç tekrar geldiğinde sistem normal işlevine kaldığı yerden devam eder.

Sistem çalışırken, sistem devresini kesilerek bu performans görülebilir. Güç kesilmeden önce sistemin hazır duruma geldiğinden emin olunmalıdır.

PPS2 çıkışı, sistem ana kartına (SMB) direkt olarak takılır ve servo motor sürücüsü için 48 VDC ve ikincil güç kaynağı (SPS) vasıtasıyla ileriye yönelik bir konumlandırmayı sağlar. Kontrol ve PPS2 için geliştirilmiş konum gösterme sinyalleri ayrıca entegral konektör vasıtasıyla SMB'ye geçiş yapar.

Güç kaynağı, voltaj yükselmesi ya da düşmesi, aşırı akım, AC hat konumu, güç kaynağı fanı arızaları ve batarya denetimini görüntülemeyi sağlamak için mantıksal ve korumalı devreleri kapsar.

BPM –Batarya Paket Modülü

Batarya Paket Modülü, sistemin elektronik devrelerine 15 dakikalık kesintisiz 48 VDC gücü sağlamak için birincil güç sistemiyle ilişkili olarak kullanılır. BMP, nominal 48 VDC elde etmek için 4 adet seri bağlantılı 3 Ah, 12VDC bataryasından oluşur. PPS devre kesiciler ve batarya paketi "on" pozisyonunda (PPS beklemede olması dahil) olduğu zaman nominal 54,6 V (1 A'de sınırlı olarak) sağlayan PPS2 ile tam olarak beklemede şarjlı olacaktır.

BPM Ölçüm Cihazı

BPM, bataryada kalan şarj miktarına ve dahili batarya ısısına duyarlı olan bir ölçme devresine sahiptir. Batarya şarj cihazı, devre anahtarlama ve sistem ara yüz PPS2 ile sağlanır.

BPM Kapasitesi

Batarya paketi, 25 °C'de 5 dakikalık boşalma değerinde minimum 8Ah'lik beslemeyi sağlayabilir. Belirtilen kapasite, 40 Volta kadar boşalabilen tam bir batarya paketidir. Bir sistemde, batarya modülü minimum 10 dakika için 1500W sağlayacaktır. 48 VDC'de batarya 30A'de sürekli akım verecektir. 1 saniye için 40A verir ve 1 saniyeden sonra batarya aşırı akım koruması aktif olabilir.

Servis Ömrü

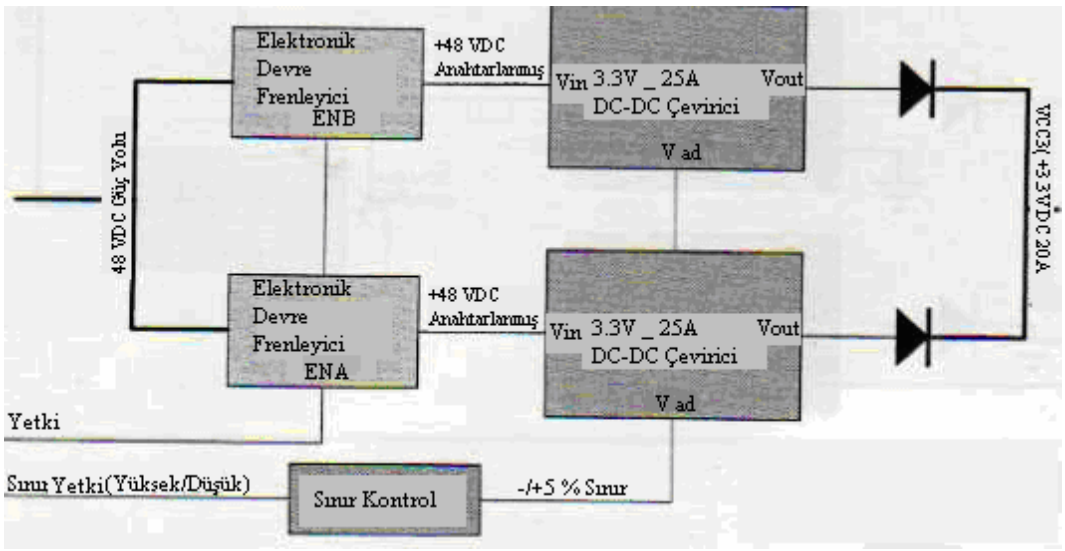
Batarya paketini düşük değerli olarak deşarj eder ancak her ne zaman açık devre voltajı 48 Volta düşerse veya her 24 ay geçerse bataryalar şarj edilmelidir. Batarya paketi tam şarj edilmiş olarak (54,6V) gönderilecektir.

L3S – Mantıksal 3.3 V Besleme

L3S'in amacı, daVinci elektronik sistemi için 20A'de temiz, güvenilir bir + 3.3 VDC

sağlamaktır. İki ayrı 3.3 Voltluk kaynakla tam olarak işlev kazanılır. Modüllerin çıkışları diyot korumalıdır. Zira, modüllerden birisi hata verirse, diğeri tam değerde çıkış gücünü dağıtabilir. Duyu sinyalleri, akımdaki değişikliklere doğru akım voltajını sağlayarak, diyotlardan sonra ana karttaki + 3.3 Volta bağlanır.

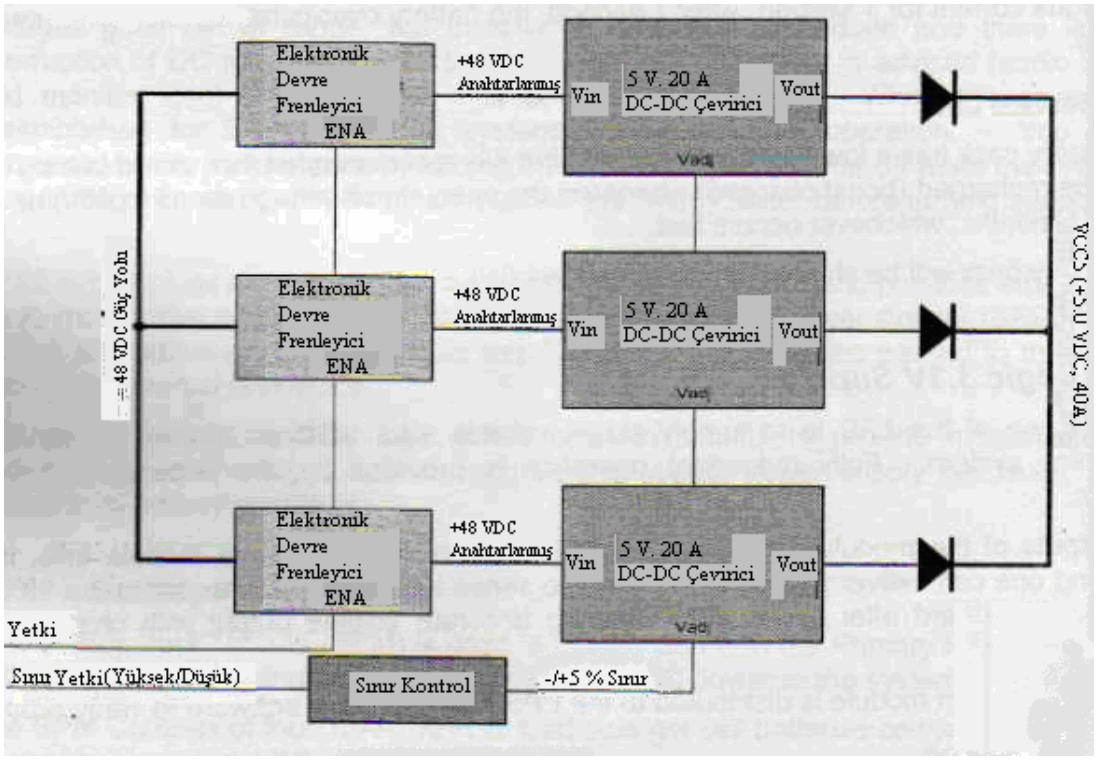
Her modülün çıkışı uygun işlemi doğrulayacak yazılımı mümkün kılan FPS boardına dağıtılır.



Şekil 4.27. Mantıksal 3,3V'luk besleme blok şeması

L5S – Mantıksal 5V Kaynağı

L5S'nin amacı daVinci elektronik sistemine güvenli, 40A'de 5 VDC sağlamaktır. Tam bağımsız operasyon 3 ayrı 5 voltluk kaynakla sağlanır. Modüllerin çıkışları diyot korumalıdır. Zira, modüllerden birisi hata verirse, diğeri tam değerde bir çıkış gücünü dağıtabilir. Duyu sinyalleri, akımdaki değişiklere doğru akım voltajını sağlayarak, diyotlardan sonra ana boarddaki 5 Volta bağlanır.
Her modülün çıkışı uygun işlemi doğrulayacak yazılımı mümkün kılan FPS boardına dağıtılır.



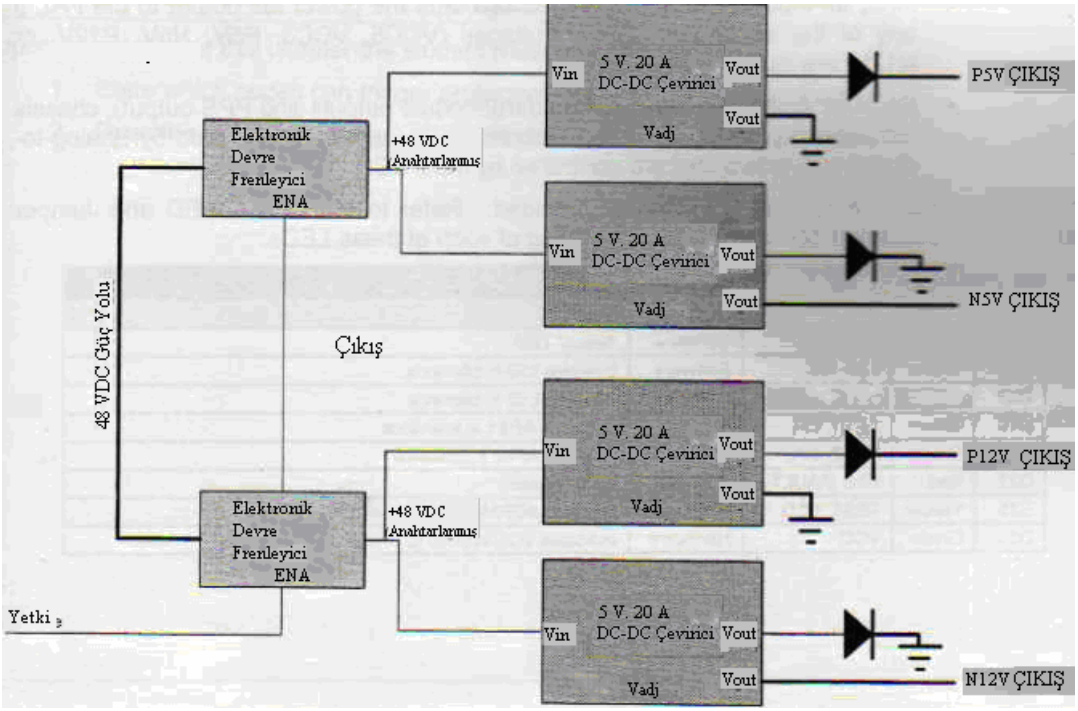
Şekil 4.28. Mantıksal 5V'luk besleme blok şeması

APS – Analog Güç Kaynağı

APS'nin amacı daVinci elektronik sistemine temiz, güvenilir anolog voltajı sağlamaktır.

- + 5VDC - 4A (P5V)
- - 5VDC - 4A (N5V)
- +12VDC - 4A (P12V)
- - 12VDC - 4A (N12V)

Tam bağımsız operasyon sistem şasesindeki iki APS kartının kullanımıyla sağlanır. Geçerli bir hat paylaşımı yükü % 5 oranında paylaşmaya zorlar.
Modüllerin çıkışları diyot korumalıdır. Zira, modüllerden birisi hata verirse, diğeri tam değerde bir çıkış gücünü dağıtabilir. Duyu sinyalleri, akımdaki değişiklere doğru akım voltajını sağlayarak, diyotlardan sonra ana boarda bağlanır.



Şekil 4.29. Analog güç kaynağı blok şeması

FPS – fan güç kaynağı

Fan güç kaynağı devresinin birincil işlevi fanları soğutan şaseye güç vermektir. Buna ek olarak, FPS, şase ısısını ve güç kaynağı voltajını gösterir ve sistem güç kaynaklarını sıralar. Fonksiyonelliği 3 gruba ayrılabilir.

Fan güç regülatörü

Fan güç regülatörü, fanları soğutan şaselere güç sağlamak üzere dizayn edilmiştir. Güvenirlik için, operasyonu herhangi yazılımdan bağımsız olur.

Güç hata bulma kontrolcüsü

FPS, hata bulma gözlemini ve sistem güç kaynaklarının şase fan hızını, şase ısısını ve USP güç anahtarının durumunun rapor edilmesini uygulamak için bir mikrokontrolcü kullanır. Bu, ISC ağı üzerindeki IOP boardındaki ISC master kontrolörüyle iletişim halindedir.

Analog Monitör

Analog görüntüleme devresi 2 işlevde bulunur.

- Birincisi, bağımsız güç kesinti devresi FRL'ye olan güç kesintisi akışını gösterir eğer herhangi ikincil voltaj kaynağı (VCC5, VCC3, P5V, N5V, P12V veya N12V) tolerans dışıysa.
- İkincisi, sistem voltajı (SPS kartı/modül çıkışları ve PPS çıkışı), şase ısısı ve şase fan takometre çıkışları, PDC tarafından kontrol edilen analog-dijital dönüştürücülere gösterilir.

5. DAVINCI AMELİYAT ROBOTUNUN GELECEĞİ

Kısa zaman içinde ortaya çıkacak olan robotik cerrahi sistemlerin, mevcut teknolojilerde merkezileştirilmiş platformlar sağlayacağı umulmaktadır. Bir sonraki telecerrahi sistemlerinde entegre görüntüleme, yönlendirme ve gelişmiş algılama yeterlilikleri hayal etmek oldukça kolaydır. Bu telecerrahi sistemlerinde tıbbi operasyonların global bilgisayar ağı olan internet üzerinden gerçek zamanlı olarak uzaktan gerçekleştirilmesi günümüzde hayal olmaktan çıkmıştır. Günümüzdeki görüntüleme tekniklerindeki ilerlemeler; gerektiğinde daha geniş açılı görüntü sağlayabilen torakoskoplar, 3D stereo ultrasonik görüntüleme ve üç boyutlu TV teknolojisi sayesinde oryantasyon sorunu büyük oranda çözülmeye çalışılmaktadır. Diğer yandan, alet uçlarına konulan sensörler aracılığı ile dokunma hissinin sağlanabilmesi de mümkündür.

5.1. İnternet Üzerinden Tele-Cerrahi Operasyon

Günümüzde internet üzerinden kişiler tarafından kontrol edilebilen birçok cihaz bulunmaktadır. Kuvvet geribildirimi içeren bu kavramın uzantısının, sonuçta interneti bir iletim aracı olarak kullanarak tıbbi operasyonları (Tele-Surgery) uzaktan yönetebilmesi mümkündür. Donanımın internet kontrolü, internet üzerinden Tele-Cerrahi operasyon kuvvet geribildirim ünitelerinde bir sonraki ticari gelişmeyi kolaylaştırmakta umut verici olacaktır [21].

Tele-Cerrahinin tanıtımından yararlanan tipik senaryolar şunları içermektedir:

1- Bazı tıbbi servislerin uzak yerlere ulaştırılması;
2- Hastanın tıbbi yardıma ihtiyacı olduğunda mobil ekipmanlar ile taşınabilir ve uzaktan kontrol edilmesi düşünülebilir. Örneğin, sahra hastaneleri.
3- Birbirlerinden uzak mesafedeki cerrahların aynı operasyon üzerinde görüş belirtmesi ve işbirliği yapılması.

İnternet üzerinden Tele-Cerrahi operasyon sistemlerinin gelişimi birçok zorlukları da beraberinde getirmektedir. Birincisi, konuyla ilgili olan internet protokollerinin gerçek doğasından dolayı, normal taşıma gerçek zamanlı (Real-Time) protokolü sağlayamaz. İkincisi, cevabın elde edilmesi mevcut internet erişiminin belirli modunda bulunan diğer alış-verişe bağlıdır ve diğer bilinmeyen fenomendir. Metotların, uzaktan kabul edilen cerrahi operasyonun gerçek-zaman kontrolünü mümkün kılmak için bu çerçevede geliştirilmesi gerekmektedir [21]. Bununla beraber, güvenlik sağlanması açısından, internet iletişim kanalı olarak kullanıldığı zaman adreslendirilmelidir. Sistem cerrah ve hasta için, kazayla ya da kasıtlı olarak operasyonun sabote edilmemesini garanti etmelidir.

5.1.1. Mevcut internet robotikleri

Mevcut internet robotiklerine genel olarak bakıldığında Java gibi gerçek zamanlı internet çözümlerinin evrimleşmesi sürecinde büyük aşama kaydettikleri görülmektedir. Genel olarak hareket talepleri uzak internet kullanıcısı tarafından girilir ve Visual C++ ile yazılmış Ortak Kapı Arayüzü (CGI) tarafından sunulup yürütülür.

Bu teknoloji eğlence üretimi ile sonuçlanan teknolojileri keşfetmek için açılan telerobotik sitelerden oldukça fazla rağbet görmüştür. Bu çevrimiçi telerobotik uygulamalar operatorün hareket talebi yapması ve bir kaç saniye sonucu beklemesi ve bir sonraki hareket talebi yapmasını gerektiren bir sistem ile çalışır. Bu Tele-Cerrahi operasyon için kabul edilebilir bir sistem değildir. Yeterli derecede ve zamanda kapsamlı bilgi vermeyen sistemde cerrah hastasını ameliyat edemez. Fakat bu siteler uygulamanın formülasyonu olan "İnternet Üzerinden Tele-Cerrahi Operasyonlar İçin Anlaşılabilir Güç Geribildirimi" (Intelligible Force Feedback for Tele-Surgery Over the Internet) destekleyen bir nitelik taşır [21].

5.1.2. İnternet üzerinden tele-cerrahi operasyon gecikmeleri

Günümüzde internet tabanlı uzun çekiş telerobotik sistemlerinin tipik cevap zamanı saniye civarındadır [22]. Çünkü saniyenin onda biri sıralamasında olan gecikmeler teleoperatörün performansını engellemeye yeterli olduğu gibi sistemin istikrarı ile uzlaşır [23]. Bu sorunu çözmek için birçok farklı yöntem uygulanabilir. Bu konuyu halletmek için çok fazla emek, öngörücü sistemlerde harcanmaktadır. Sanal gerçek tabanlı sistemler operatöre zamanlı geribildirim göndermektedir. Performans geliştirmesi geometrik model hatalarını potansiyel olarak tanıtma sayesinde gerçekleşir. Bundan dolayı iletişim gecikme tipleri üç kısımda incelenebilir [21].

İnsan Tepki Zamanı

İnsan algısındaki gecikme 100-200 ms'dir. Uyarıcı ile bilerek hareket etmek için gerekli olan zaman 250-600 ms'dir [24]. Bu da teleoperatörün kontroller üzerinde sıkı bir hakimiyeti olduğunu varsaymaktadır. Gerçek gecikmeler bazı durumlarda 800-1500 ms'lere kadar çıkabilmektedir.

Wierwille, Casali ve Repa, hareketli-taban sürücü simülatörü, ani-hamleli çapraz rüzgara tabi tutulurken, özellikle deney test yolunun ilerisinde bulunan arabada sürücülerin yönlendirme tepki zamanlarını ölçmüşlerdir. Tepki zamanları sırasıyla 300-590 ms olarak kaydedilmiştir [25]. Bu durum gösterir ki güncel olan öncelik sırasına göre 10 Hz ve bu uzak istasyonda maruz kalınan bir kuvvetin doğru şekilde gösterimi için insanlara yeterli bir algı süresi sağlar, buna ek olarak bilinçaltında tele-operatörlerin doğal reflekslerini alt üst etmez. Lokal kontrol güncellemeleri 5 Hz gösterilmesine rağmen doğru olarak eklem hareketi tarif etmek için yeterlidir [26].

İnternet üzerinden uygulanan güç geribildirimleri, günümüzün internet kapasitesi göz önüne alındığında güncelleme hızı 250 Hz olmalıdır.

Sabit Gecikme

Yayılma (propagasyon) gecikmesinin tele-işlem sisteminde giderilmesi olanaksızdır (elektrik hızındaki kısıtlamalara ve ışık hızına bağlı olarak). Yapılan çalışmalar göstermektedir ki, iletim gecikmesinin 200 ms ya da bundan yukarı olması halinde, cerrahi titizlilikte ve duyarlılıkta problemlere yol açmaktadır [22].

Uluslararası Telekominikasyon Birleşik Telekominikasyon Standartlaşma Sektörü (TIU-T) şunu kaydetmiştir ki, sesli aramalarda, birçok arayan kişi, 250 ms'yi geçtikten sonra gidişte ve dönüşteki gecikmeleri fark etmişlerdir. Sonuç olarak ITU-T G.114, yüksek kaliteli ses düzeyine ulaşmak için maksimum istenilen tek yol gecikme süresi olan 150 ms'yi önermiştir. 500 ms ya da daha fazla olan gidiş dönüş (RTT) zaman gecikmeleri olan telefon konuşmaları çok zor olmaktadır. Bu öneri günümüzde VoIP teknolojisinin temelini teşkil etmektedir. Ses trafiği için olan bu rakamlar zamanında ve gerçekçi kuvvet geribildirim uygulamasını yapmak amacıyla, internet üzerinden telecerrahide başlangıçta yol gösterici olarak kullanılabilir.

Rasgele Zamanda Değişken Gecikme

İnternet, cevap zamanı ya da bant genişliği garantisi için üst sınır çizmeyen, en iyi kalite için gayret gösteren global bir servistir. İstenilen sonuç, rasgele doğal zaman değişimi olan bir hizmettir. %100 net sonuç zaman ilişkisi bakımından garanti edilmemektedir. Bu gerçek, sistemin teleoperasyon içinde bulunan karmaşıklığın başka bir düzeyini ortaya çıkartmaktadır. Tele-sistemde, ilgili bir yatıştırma işlemi ile sürekli olan bir gecikmeyi eşitleyerek icabına bakılabilir. Bununla birlikte, rasgele zaman değişken gecikmesini telafi etmek çok zordur. Böyle bir durum çoğu zaman tüm sistemde istikrarı bozmakla sonuçlanabilir. İnternette kapalı döngü sisteminin zamanında ve istikrarlı kontrolü için gerekli olan anahtar, gecikme değişikliğini etkili bir şekilde azaltılmasından geçmektedir.

5.1.3. İnternet üzerinden tele-cerrahi operasyonun geliştirilmesi

İnterneti bir bağlantı gibi kullanan gerçek zaman tele-sisteminin kontrol edilmesindeki problemler geçmiş birkaç sene içerisinde geniş bir şekilde üzerinde çalışılmıştır. Birçok araştırmacı, görünüşe bakılırsa IP protokollerine ayrıntılı bir şekilde bakmadan, TCP/IP'yi kullanmaya yönelmiştir (bilgiyi zamanında iletme şeklinin doğasında bulunması). Genellikle, geçmişteki araştırmalarda TCP/IP gecikmesinde bulunan telekontrol sistemi stabilize etmek için karmaşık kontrol metotlarının çeşitliliği üzerinde durulmuştur. Esasında, stabilizasyonu sağlamak için, sonuçlar büyük miktardaki sistem cevapları ile değiş tokuş edilmiştir. Fakat TCP/IP protokolünden UDP protokolüne geçilmesi sistem hızını büyük ölçüde geliştirecektir.

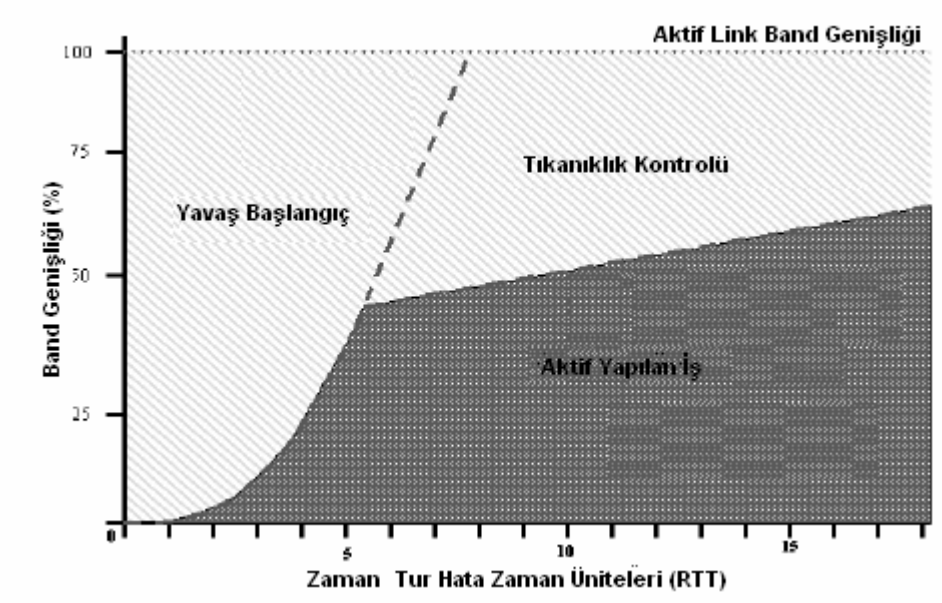
5.1.4. TCP/IP

TCP, bağlantı bazlı bir protokoldür. TCP trafik akışına bağlı olarak oluşan muhtemel bir tıkanmada, TCP tıkanma kontrol mekanizması tarafından kontrol altına alınmaktadır. Bu tıkanma kontrolü, gerçek zaman uygulamalarında ciddi problemlere neden olabilmektedir. Buna ek olarak, TCP aşağıdaki formlarda olan hata düzeltme ayarlarına sahiptir:

- Düzenli teslim
- Çoğalma bulunması
- Çökme iyileştirme
- Tekrar geri yollama stratejisi

TCP ile isimlendirilen yukarıdaki biçimler ile TCP, bilgilerin güvenilir bir şekilde gidilecek yerlere taşınmasını garanti etmektedir, böylece IP ağının bilinen güvenilmez özelliğinden bilgi kullanıcılarını korumaktadır. Internet üzerinde TCP tarafından kullanılan bu akış ve hata kontrol teknikleri, işlemin gerekli süre içerisinde yerine getirilmesinde büyük zorluklar oluşturmaktadır ki tele-sistem uygulamalarında bilinen gerçektir. Bu olumsuz durum örneklendirilecek olursa TCP

yavaş başlama mekanizması, ilk bağlantı kurulumunda, işlem hacmini ve kopmuş olan bağlantının yeniden başlamasını bulmak için kullanılır. Kanal boyunca ilk paket yollama ve paketten cevap bekleme ile yapılmaktadır. Eğer cevap alınırsa, bir sonraki paket biraz daha hızlı bir şekilde yollanır. Bu işlem bağlantı hızı belirlenene kadar tekrarlanır. Cevaplar arasındaki ikinci yarı gecikmesi ile işlem hacmi önemli ölçüde yavaşlatılır.



Şekil 5.1. TCP/IP'de gerçek üretilen iş [21]

Bu işlem yaklaşık 7-15 tur zaman alabileceği için, 500 ms yayılım gecikmesi olan bir bağlantı 3-7 saniye anlamındadır ve bu bağlantı düşük verimdedir. (Şekil 5.1). Bilginin yollandığı bazı yerler küçüktür ve optimum kanal işlem hacmi belirlenmemişken tüm işlem bitebilir [27]. Bu, bilgilerin küçük örneklerle veya güncel olarak gönderilen gerçek zaman işlemlerinde sıklıkla gerçekleşen bir durumdur.

Yukarıdaki bilgilere ilaveten, alıcı ve gönderici arasındaki her TCP bağlantısı "3-yol Tokalaşma" yolu ile kurulmuştur. Uzun yayılma gecikmeleri olan bağlantılarda, düz kısa bilgi değiş-tokuşları an az birkaç saniye alsa bile tamamlanmaktadır.

Bilgi bağlantıları sesli olabilir ve bunun TCP/IP işlem hacminde derin etkileri vardır çünkü yavaş başlayan tıkanma kontrol mekanizması yanlış bir şekilde bu sesi ağ

tıkanması şeklinde belirler. Bu sebepten dolayı, gerçek zaman bakış açısıyla bakıldığında TCP, büyük ölçüde yukarıdaki çok geniş işlemden dolayı, bilgi için gerçekçi bir yol bulabilmekte yeterli bir çözüm sağlayamaz.

5.1.5. UDP/IP ve RTP/UDP/IP

Görünürde, hiçbir çevrimiçi tele-işlem sistemleri Kullanıcı Datagram Protokolü / Internet Protokolü'nde (UDP/IP) çalışan Gerçek Zaman Protokolünü(RTP) kullanmamıştır. Büyük bir ihtimalle, UPD/IP güvenilmeyen bir bilgi ortamı olarak görülmektedir. Zira paketin teslim garantisi bu protokolde yoktur. UDP düşük dereceli bağlantı protokolüdür. Buna ilaveten, paketler muhtemelen bozuk bir şekilde ulaşacakları yere varırlar.

Fakat günümüzde RTP/UDP/IP internet üzerinde bilgiyi gerçek zamanda aktarmak için kullanılan protokol düzenleyicisi olarak hızla popüler olmaktadır. RTP esas olarak, gerçek zaman gereksinimleri olan medya akışı için dizayn edilmiştir. UDP ile RTP gerçek zamanlı işlemler için (mesela ses ve video) TCP'den çok daha iyi bir seçenektir. Her RTP paketi zaman bilgisi ve global olarak senkronize edilmiş saati içermektedir ki bu ayrıntılı haritalama, farklı kaynaklardan birçok akışı birleştirmeye olanak sağlamaktadır.

Gerçek zamanlı işlemlerde 20 ms bir örnek içeren paketin (bilinen normal bir ses için) yollanmasından sonra 1-2 saniye içinde tekrardan yollanması, gerçek-zaman ses aktarımında kötü bir karışma yaratır. Bu durumu TCP, bilgi kaybı olarak algılar, bilgi akışını durdurur, kaybedilen noktadan tekrardan yollanmasını ister ve sonunda birçok saniyeden sonra sırasıyla bilgiye ulaşır.

UDP kullanmanın en önemli nedeni az protokol yüküdür. Video sunucu gibi gerçek zaman veri akışı gerektiren bir uygulama için TCP fazla yük getirir ve görüntü gerçek zaman oynamaz. Bu nedenle multicast uygulamalarında Datagram soketler kullanılır. Ayrıca video ve ses görüntülerinde genelde az bir veri kaybı sesi veya görüntüyü bozmaz. Bu nedenle sıkı paket kontrolüne gerek yoktur. Eğer iyi bir

fiziksel bağlantı varsa hata oranı düşük olacaktır ve bu nedenle TCP'nin yaptığı hatalı paket kontrol işlemleri fazladan yük olacaktır.

Belirtildiği gibi, paket kaybı UDP/IP ile giderilmesi olanaksızdır fakat kod çözücü kayıp-saklayıcı sınıflandırma cetveli ile telafi edilebilir. Örnek bir kod çözücü G.723.1. Bu çözücü, kayıp çerçeveyi bir önceki çerçevedeki vokal karakteristiğini simüle ederek ekleme yapar ve yavaşça sinyali durdurur. Bu durum göstermiştir ki, paket kaybında yüzde 10 artarak sesli konuşma kalitesinde fark edilir bir etki yaratmıştır.

Ayrıca, UDP/IP'nin düşük bağlantı kalitesi, protokolün (TCP/IP 40 byte'tan, UDP/IP 28 byte'a) masraflarını azaltmaktadır ve bu UDP'ye sabit akış işlemlerinde (mesela multimedya ve kontrol devrelerinde) daha fazla tercih seçeneği olarak bakılmasına neden olmaktadır.

UDP/IP uygulamasının TCP/IP'den daha düşük başlık masrafı olmasına rağmen, RTP/UDP/IP uygulaması RTP bileşenini ek olarak 12 byte başlık kısma eklediği için, başlık masrafını 40 byte'a çıkarır. Buna yalancı başlık "(pseudo header)" denir.

Çizelge 5.1. UDP'de yalancı başlığın içeriği

Alan	Uzunluk	Açıklama
Kaynak Adres	32 bit	Göndericinin standart IP adresi
Hedef Adres	32 bit	Alıcının standart IP adresi
Protokol Kodu	16 bit	UDP' nin oluşturduğu datagramı gösteren standart IP kodu.UDP için değer 17'dir.Yani bu alan heksadesimal kodda 0x0011' dir.
UDP Uzunluğu	16 bit	Başlığı içeren byte sayısı.

IP sadece kendi başlığı üzerinde hata kontrol işlemi yapar. UDP verisi üzerinde hata kontrolü yapmaz. UDP'deki hata kontrolü sadece hatasız taşımanın bir ölçüsüdür. Yeniden gönderim veya güvenilirlik sağlamaz.

Yalancı başlık kaynak adres, hedef adres, protokol kodu ve UDP uzunluğunu içeren kavramsal bir önektir.

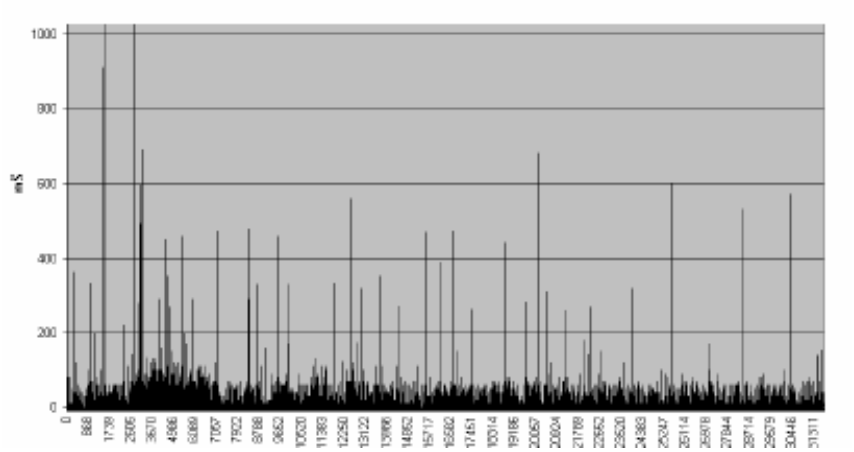
Eğer bilgi paketi sırasına göre 1500 byte ise 40-45 byte'lık masraf problem olmayacaktır. Asıl problem uygulama esnasında sırası ile 10-20 byte içeren bilgi paketlerini içermektedir (örnekleme değerine bağlı olarak). Bunun için muhtemel iki çözüm bulunmaktadır:

- Paket büyüklüğünü arttırmak, örnek oranının zararı ve potansiyel gecikme kararsızlığı.
- Başlık sıkıştırmasının kullanımı.

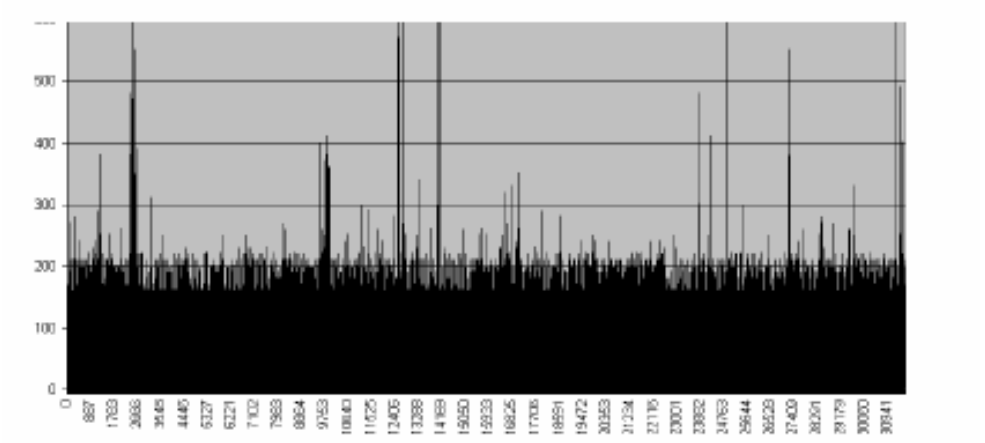
UDP/IP'nin TCP/IP'nin yerine kullanılması network etkisini aşağıdakiler aracılığı ile arttıracaktır.

- Bilgi akmaya başlamadan önce bağlantı kurulum ihtiyacının kaldırılması.
- Bilgi işlem hacminin yavaş yayılmasının kaldırılması (TCP tıkanma kontrolünden dolayı).
- Düşük oranda paket kaybı, bilgi akışının iletilmesini durdurmaz.

Ping (paket internet yoklayıcısı), Internet Kontrol Mesaj Protokolunu (ICMP) kullanarak internet üzerindeki birçok varış noktalarının Dönüş Tur Zamanının (RTT) belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu rutin ping UDP paketlerini kullanmaktadır. RTT, üzerinden geçilen uzaklıktan, gönderilen bilgi büyüklüğünden ve elverişli olan bant genişliğinden etkilenmektedir.

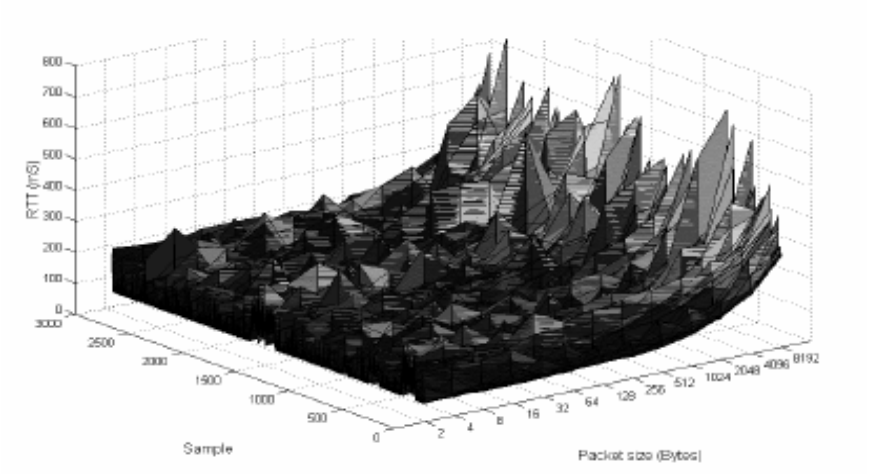


Şekil 5.2. Aralarında 90km olan iki şehir arasındaki RTT gecikmesi [21]



Şekil 5.3. Kıtalar arasında ölçülen RTT gecikmesi [21]

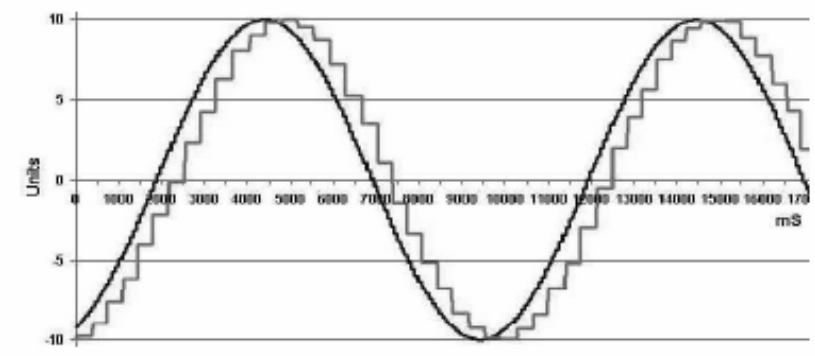
Şekil 5.2 ve 5.3'de görünen sonuçlar oldukça teşvik edicidir. Wollongong'dan Sidney'e olan (90km) enine hesaplanan dönüş RTT gecikmesi sırasına göre 13ms'dir (Şekil 5.2). Kullanılan ölçüm aletlerinin her zaman 10 ms ya da 10 ms den daha düşük olan RTT zamanlarını doğru olarak kaydetmemesinden dolayı gerçek gecikme daha düşük olabilir. Wollongong'dan Berkeley'e (Şekil 5.3) olan dönüş RTT gecikmesi sırası ile 160 ms'dir. Gecikmenin aniden yükseldiği bu örneklerde, TCP/IP'nin aksine, RTP/UDP/IP protokol yığını gecikmeyi geçersiz sayacağı için bir durum arz etmeyecektir [21].



Şekil 5.4. UDP paket büyüklüğünün RTT gecikmesine etkisi [21]

Şekil 5.4'deki araştırmalarda da açıkça görüldüğü gibi UDP paketlerinin toplam büyüklüğü RTT gecikmesini etkilemektedir. Büyük miktarlarda gerçek zamanlı bilgi yollandığı zamanlarda bu durum endişe yaratabilir (örnek video), fakat kuvvetli bir geri besleme durumunda, 8 byte'lık bir bilgi paket büyüklüğü öngörüldüğünde gerekli olan tüm bilgilerin taşınmasına yeterli olacaktır. Bu sebepten dolayı şekil 5.2 ve 5.3'teki grafiklerde cevap zamanları 8 byte'lık paket büyüklüğüne göre hesaplanmıştır [21].

Bu sonuçlar, yüksek ses kalitesini yakalamak için, istenen maksimum tek yol gecikme süresi olan 150ms'nin önerilen ITU-T G.114 içerisinde iyi bir şekilde dağılmaktadır.



Şekil 5.5. UDP ile gönderilen bilginin çok az bozulma ve az bir zaman kaybıyla ulaştığını gösterir dalga şekli [21]

Şekil 5.5 UDP'nin gerçek-zaman kontrol protokolü olarak seçilmesini şekil çok açık bir şekilde göstermektedir; alınmış olan dalga minimum dalgalanmayla iletilmiş olan sinüsü yakından takip eder. Aynı zamanda sinüs dalgası TCP bağlantısı üzerinden alınır, bağlantı aracı olarak kullanılan internet tanımlanamaz [21].

Sonuç olarak, çeşitli protokoller kullanılarak pek çok robotiğin internet üzerinden kontrol edilebildiği görülmüştür. Gerçek zaman ilişkisinin göz ardı edildiği uygulamalarda TCP protokolü geçerli kılınırken, internet üzerinden tele-cerrahi operasyon uygulamalarında gerçek zaman işleminin öneminden dolayı RTP/UDP/IP protokolünün güvenilir ve kullanılabilir olduğu görülmektedir. RTP/UDP/IP protokolü kullanılırken medya transferlerinde (örneğin video, ses) ilgili codec'in kullanıcı tarafına uygulanmasına bilgi kayıplarını sıfıra indirgemek ve güvenilirlik için dikkat edilmelidir. Ayrıca gecikmelerin 200 ms altında kalması için paket boyutlarının küçültülmesinde ve uygulamalarda tampon kullanılmasında yarar görülmektedir.

Gerçekçi kontrolün uygulama yolları, gerçek zaman trafik akışına yönlendirilmiş olan internet protokollerinin kullanımı ile açıklanmaktadır. İnternette bulunan, kuvvet kontrol değerlendirmesini ve geribildirimi içeren deneysel çalışmalardan sonraki adımlar, internette mevcut olan performans ne olursa olsun sistemin sağlamlığını sağlamak, mevcut olan boşlukta derece sayısının genişletilmesi olacaktır. Sonuç itibariyle, kuvvet kontrolünün internet üzerinden ikna edici olduğu görülmektedir.

5.2. Cerrahi Robot Kılavuzluğu İçin Üç Boyutlu Ultrason Görüntüleme

Ultrason, insan kulağının işitemeyeceği kadar yüksek frekanslı ses dalgalarına verilen addır ve öteses, ultrases de bu kavram için önerilen adlardandır. Ultrason akustik bir dalgadır ve elektromanyetik değildir. Ultrason; 20 000 hertz üzerinde (2 – 15 MHz) frekansa sahip işitilemeyen sestir [28].

En son geliştirilen gerçek zamanlı 3D Ultrason Görüntüleme (3DUS) kalp ameliyatları dahil olmakla birlikte bir çok cerrahi prosedürü mümkün kılabilmektedir. Bu görüntüleme tekniği, minimal olarak kardiyak ve fetal cerrahide bir dizi yeni teknikleri mümkün kılacaktır [29].

Cerrahlar açık kalp ameliyatlarında akciğerkalp bypass'ından dolayı daha rahat olurlar. Fakat mikrocerrahi gelişmeler, kalp operasyonlarında akciğerkalp bypass işlemini ortadan kaldıran ve direkt atan kalp içerisinde çalışma imkanı verirler. Fakat maalesef uygun görüntüleme sistemi interkardiyak atan kalp cerrahisinde geleneksel endoskop kanın opak renginde sonuçsuz kalmaktadır. 3D Ultrason, kalpteki opak renkli kan havuzunun içinden görüntülemeye olanak tanır ve gerçek zamanlı 3D uzamsal algılama zorluklarının üstesinden gelir.

Dolayısıyla gerçek zamanlı 3D ultrason sistemi atan kalp cerrahisini aktifleştirmede rol oynayacaktır. Böyle bir sistemi Da Vinci sistemine adapte etmek kalp operasyonlarında cerraha büyük avantajlar sağlar. Çünkü Philips'in bazı medikal sistemleri saniyede 20-25 frame gerçek zamanı destekler. Böylece 3D ultrason sistemlerinin geleneksel endoskopiye yakın olduğu ortadadır. Bu gelişmeler için yapılan çalışmalara ileriki konularda değinilecektir. Ayrıca hasta da oluşturulan 3. kanalı ortadan kaldırır ki bu iyileşme sürecini kısaltır.

5.2.1. 3DUS genel yapı

Ultrason ile 3D stereo görüntülemede, 3DUS cihazından gelen gerçek zamanlı bilgiyi kullanarak, dönüştürücünün bir cerrahi robotu kullanan cerrah için 3D'de bilgiyi vermesi için yazılım gereklidir. Görüntüleme için 3DUS verisinin dönüştürülmesi modern kişisel bilgisayarların donanım kaynaklarından daha iyi performans göstermesini istemekte ve çoğunlukla pahalı görüntüleme sistemleri için kullanılmaktadır. Donanımsal olarak gerçek zamanlı görüntüleme, saniyede 40 Mega bytelık bir veriyi dönüştürmek ve ayarlamak için sisteme gereksinim duyar. Bununla birlikte, tüketici bazlı 3D grafik endüstrisi, mevcut CPU kapasitesinin daha ilerisinde tüketici bazlı grafik işlemcilerin (GPU) hesaplanabilir kapasitesini kullanmıştır. Bu

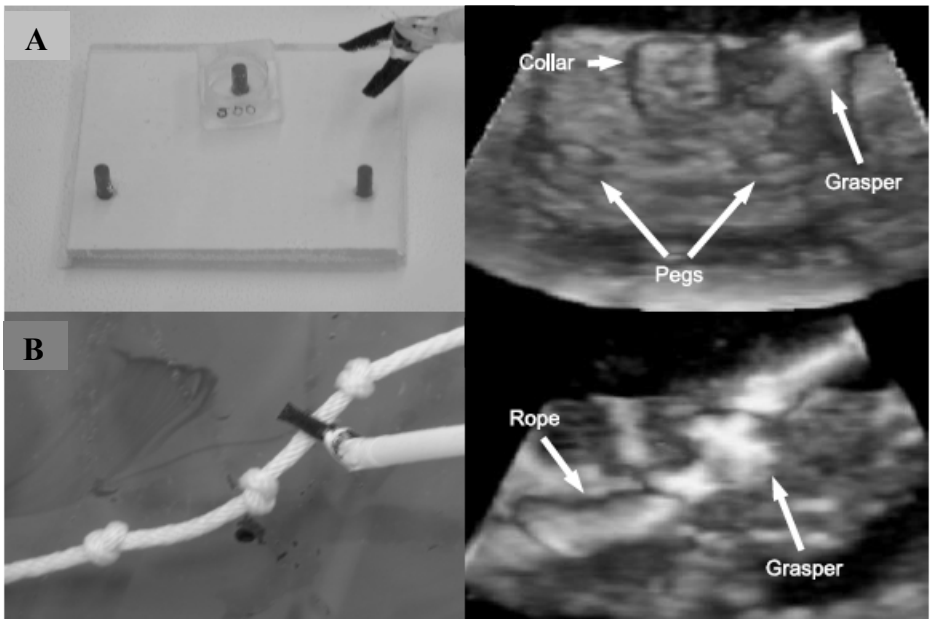
değişiklik interaktif çerçeve oranlarındaki büyük hacimli veri setlerinin gösterilebilirliğine tüketici bazlı grafik hızlandırıcılarına kazandırılabilir. İşte bu noktada GPU üzerinde bulunan bir yazılımsal algoritma sadece CPU'dan gelen işlemci yükünü hafifletmekle kalmaz, ayrıca gerçek zamanlı dönüştürücünün yüksek bant genişliğinin gereksinimlerini de karşılar [30].

Boston Üniversitesi Çocuk Hastanesinde yapılan 3DUS'un cerrahi robotlar ile birlikte kullanıldığı çalışmalarda dönüştürücü olarak 256 mega byte RAM'lı bir GeForceFX 7800 üzerinde DirectX 9.0c kullanılmıştır. Ultrason imgeleri Philips SONOS 7500 3DUS cihazı tarafından üretilmiştir. 3DUS kılavuzluğunda yapılan cerrahi prosedürlerde karşılaşılan problemlerden biri olan derinliği görüntülemedeki yetersizlik seslerin stereoskopik görüntülenmesi için kullanılan yüksek performanslı dönüştürücü ile sağlanır. Yüksek oranda resim sayısını dönüştürmek streoskopik gözlükler vasıtasıyla stereoskopik görüntülemeye olanak tanır. Stereoskopik canlandırmayla, gerçekçi derinlik algısı ve uzamsal 3DUS verisi yorumu sağlanır. Stereoskopik imgeler GPU'da tanımlanan algoritmanın oldukça kolay bir şekilde modifikasyonuyla üretilir. Sol ve sağ gözden bakış, değişken konum ve kameranın yönlendirilmesiyle kullanılır ve gözlük optüratör oranı ile senkronize edilir.

5.2.2. 3DUS sistemi ve sonuçları

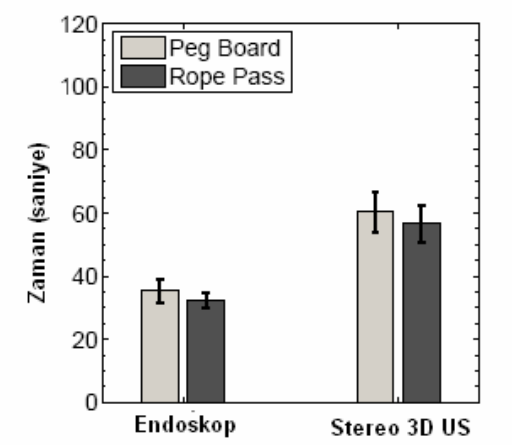
Kurulan sistemin kısaca çalışması şöyledir; 128x48x204 voksellik sesler 25 Hz'de üretilir ve dönüştürücü algoritmayı çalıştıran bir kişisel bilgisayara TCP/IP ağı üzerinden gönderilir. Veri ultrason cihazından alındığında dönüştürücü, derhal cerrahi robotun kontrolünde konuşlanmış monitöre göndererek gösterir. Sonuç olarak, cerrahlar, robotu kontrol ederken cerrahi bir prosedürü kılavuzluk etmek için stereo dönüştürülmüş ultrason verisi kullanırlar. Bir monitör, dönüştürücüden gelen çıkışla, kullanıcının ön kısmına yerleştirilmiştir. LCD ekran koruyucu takılarak, stereo görüntü robot kontrol edelirken operatör tarafından gözlemlenir. Bu çalışmada kullanılanlar gibi cerrahi kavrayıcılar ultrason da bozulmuş ve tamamlanmamış olarak görülür. Sonuç olarak, kavrayıcılar, metal kavrayıcılar gibi oldukça yansıtıcı özelliği olan yüzeyleri kaplamada kullanılan Teflon ve ısı emici tüp ile kaplanır. Bu

muamele metalik kavrayıcının yansıtıcı özelliğini büyük oranda indirgemiş ve 3DUS deki görünümlerini iyileştirmiştir [30].



Resim 5.1. (A) peg board görevinin 3DUS (B) İp görevinin 3DUS resmi [30]

Deneyin sonuçları 3DUS için bir stereo göstergesi bir cerrahi robotu kontrol etmek için kullanıcıların yetisini geliştirir. Yapılan ölçümler sonucunda Peg board deneyi için endoskopik kamera kullanarak görevi tamamlamak deneklerin 35 saniyesini almıştır. 3DUS Stereo gösterge kullanıldığında, tamamlama süresi 60 saniye düzeyindedir. İp geçiş denemesi benzer sonuçlar göstermiştir. Denekler 37 saniye de endoskopik kamerayla ip geçiş deneyini tamamlamıştır. 3DUS Stereo göstergeyle ip geçişini tamamlamak için ortalama zaman 57 saniye olmuştur [30].



Şekil 5.6. Endoskop ve stereo 3DUS kullanımının zamana göre karşılaştırılması [30]

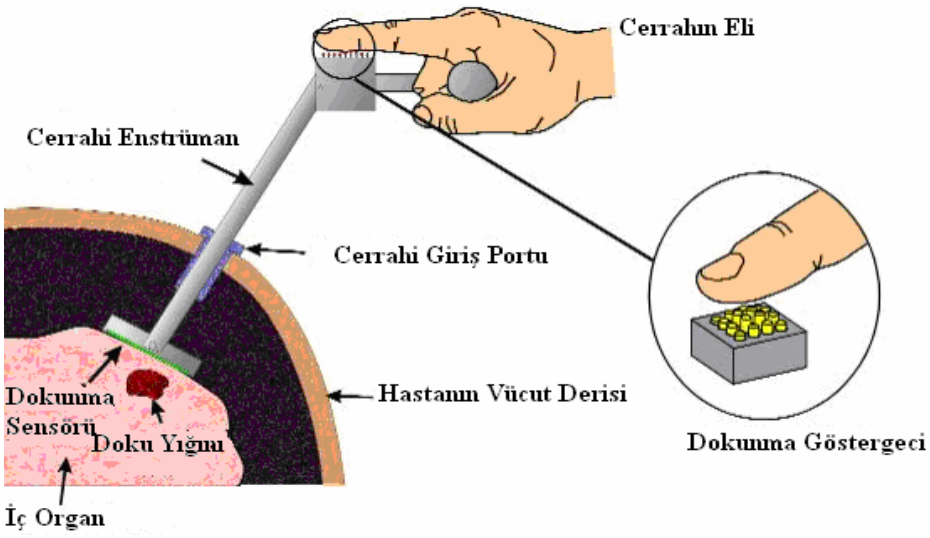
Bir stereo 3D ultrason verinin görüntülenebilirliğinin iyi sonuçlar doğurabileceği bir kullanıcı çalışmasıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, deneklerin 3DUS altında bir cerrahi robotla kompleks manipülasyon görevleri yerine getirebildiğini göstermiştir. Şimdilik geleneksel endoskopik görüntü cerrahi kılavuzluk için en iyi görsel sistem olduğu kanıtlanmış olsa da, 3DUS görüntülemeyi stereo görüntülemeyle artırmak kullanıcının bir cerrahi robotu kontrol etme yetisini iyileştirmiştir [30].

Stereo görüntüleme ile görülen performans iyileşmesi 3D endoskoplarla bulunan sonuçlarla istikrarlıdır [31]. Bu gelişim süreci göstermiştir ki bu çalışmada gerçekleştirilen 3DUS kullanılabilirliği gelecekte daVinci sisteminde kalp gibi organların içyapılarının 3DUS ile görüntülenmesini, böylece kardiyak atan kalp cerrahisinin daVinci sistemine uygunlaştırılmasını sağlar. Ayrıca hastanın vücudunda endoskopi girdisinin bulunmaması hastanın iyileşme sürecini kısaltacak ve operatörün konsantrasyonun başka yönlere kaymasını engelleyecektir.

5.3. Uzaktan Dokunma Duyusu Veren Enstrümanlar

Dokunma duyusu veren enstrümanlar, hastanın içerisinden dokunma bilgilerini alarak cerrahi girişim esnasında cerrahın parmaklarına taşıyan araçlardır [32]. Bu gelişme genellikle cerrahi müdahaleye sebep olan tümör, ur gibi hastalıklı doku yığınlarının tespitinde ve bu dokular üzerindeki işlemlerde cerraha büyük kolaylıklar sağlayacaktır. Cerrah bu dokular üzerinde hissederek cerrahi müdahalesini

gerçekleştirecektir (Şekil 5.2). Böylece gelecekte Da Vinci gibi sistemlerin akciğer üzerindeki tümör vakalarına uygulanan MIS cerrahisindeki eksikliğini önemli ölçüde giderilecektir ve MIS'in akciğer cerrahisindeki uygulanabilirliğini önemli ölçüde arttıracaktır.



Resim 5.2. Dokunma duyusu sensörlerinin kullanımı [32]

Harvard Üniversitesinde bu konuda yapılan araştırmalarda iki konu üzerinde durulmaktadır. Birinci konu cerrahların incelenmesidir.

a- Cerrahların dokunma duyularının harekete geçmesinin gözlemlenmesi, tipik parmak hareketlerinin ölçülmesi, hızları ve dokunma esnasındaki güçleri.
b- İnsan parmaklarının, organ dokularının ve tümörlerin karakterlerinin biomedikal ölçümleri.
c- Katı mekanik modellerin ve onların dokunmadaki etkileşimlerinin geliştirilmesi.
d- Dokunma işlemlerindeki insan dokunma algılama kapasitelerinin limitlerinin ölçümü.

İkinci konu prototip sistemin geliştirilmesidir.

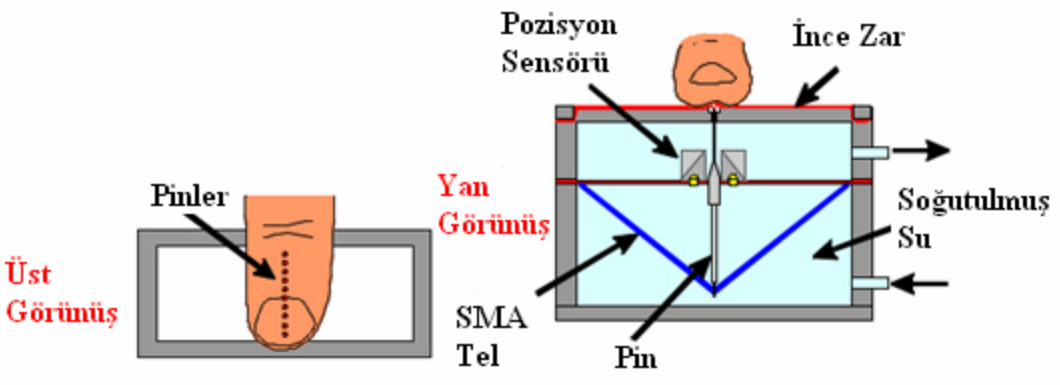
a- Özelleştirilmiş dokunma sensörleri
b- Sinyal işlem algoritmaları

c- Dokunma gösterme devreleri

d- Cerrahi enstrümanlara entegrasyon.

Bu yeni enstrümanlar dokunma sensörleri içerir ki bu sensörler dokular üzerinde dağılarak ölçüm yaparlar. Bu sensörlerden alınan sinyaller bilgisayar sistemi tarafından dedekte edilerek örneklendirilirler ve sinyal işleme algoritmalarına gönderilerek uygulanırlar. Sinyal işleme dokunma sisteminin bir parçasıdır ki dokunma feedbacklerinin gerçekleşmesini sağlar. Enstrüman kullanımı esnasında oluşan ve sensörden toplanan dokunma bilgilerinden kaynaklanan gösterim için uygun sürücü komutlarını üreterek mekanik hareketleri anlaşılır biçimde detaylandırır. Bunun için öncelikle genel sinyal işlem algoritmasının dizaynı yapılır. Bunu sağlamak için normal dokularda biçim gösterimi simulasyonu ve aktif pozisyonlama kullanılarak kontrol şemaları geliştirilir. Bu metot parmak ile doku arasındaki mekanik etkileşimi modeller ki Hertz iletişim teorisi kullanır. Parmak pedinin lineer olmayan yumuşaması bu teoriyi içerir. Böylece dokular üzerindeki bozulma ve çukurların hesaplanmasına izin verir ve parmak pedi gerçek zaman kontrol tekniklerini kullanır [32].

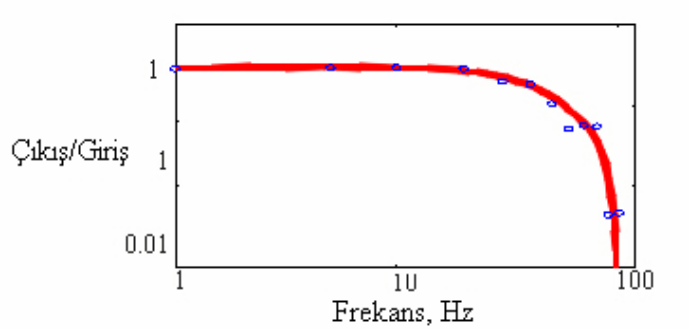
Sonunda bu dokunma duyusu dokunma gösterme devreleri vasıtasıyla cerraha iletilmiş olacaktır ki cerrahın parmaklarında uzaktan doku dağılımı aynen canlandıracaktır. Uzaktan dokunma duyusu teknolojisinin kreasyonu günümüzdeki MIS prosedürlerinin güvenilirliğini ve güvenliğini arttıracak, MIS teknolojisine yeni avantajlar getirecek, komplex işlemler gerçekleştirecektir.



Resim 5.3. Dokunma göstergecinin dizaynı [33]

Şekilde dokunma göstergecinin dizaynı gösterilmiştir. SMA (Şekil Hafızalı Alaşım) kablo metal grubunun bir üyesidir ve uygun görülen ısıl işlem uygulandıktan sonra önceden tanımlan biçim veya büyüklüğüne geri döner. Uygulamada şekil hafıza etkisi gösteren çok sayıda alaşımların olduğu bilinmekle birlikte bunlar arasında en çok ilgi görenler nikel-titanyum alaşımları ve bakır esaslı alaşımlardır [34].

Dokunma göstergeci tek tek hareketli sıralı pinlerden oluşur ve parmak pedine doğru yükseltilmişlerdir. Pin konfigürasyonu sıralı seçilmiştir. Çünkü böylece dokunma enstrümanının organ üzerindeki hareketi baştan aşağıya tüm boyutlarıyla taranmış olacaktır. SMA kablo, pinleri sürmek için kullanılmıştır. Elektrik akımı teli ısıtır, şekil değiştirir ve tel kısalır. Böylece pini yukarı iter. Bu dizayn ile her pin 3 mm hareket edebilir ve 1N üzerinde güç üretebilir. Fakat burada en önemli problem SMA telinin geç yanıt vermesidir. Su soğutma kullanılarak bunun üstesinden gelinmiş ve her bir pin için optik sensörlerden pozisyon geri dönüşümü alınmıştır. Aşağıdaki şekilde pin yanıtı ile arzulanan pozisyon frekansının fonksiyonu gösterilmiştir [33].



Şekil 5.7. Giriş/çıkışın frekans ilişkisi [33]

Çıkış yer değiştirme düşmesi 40 Hz'de %30 oranındadır (-3db noktası). Bu durum parmak hız deneyleri için özel kurulum dizaynına olanak sağlaması açısından memnunluk vericidir [33].

6. SONUÇ

Günümüzde tıbbi robotların son derece gelişmiş, güvenilir ve güvenli elektronik ve bilgisayar donanımlarına sahip olduğu bilinmektedir. Tıbbi robotlarda elektronik ve bilgisayar alanlarının yanı sıra mekanik donanımlarda son derece önemlidir. Çeşitli cerrahi robotlarda bu bileşenlerin bir araya geldiği ve aralarındaki farkları oluşturduğu günümüzde görülmektedir. Fakat açıklanan cerrahi robotlar ne kadar birbirlerinden farklı olsalar da en temel kesişme noktaları güvenli olmalarıdır. Çünkü söz konusu sistemlerde operasyon esnasında en ufak bir aksaklık insan sağlığı açısından ciddi sonuçlar doğurabilir. Bu ihmal edilemeyecek bir durumdur. Cerrahi robot tasarımı yaparken bu bileşenler kusursuz tasarlanmalıdır.

Bu tezde günümüzdeki en teknolojik tıbbi robotlardan biri olan daVinci robotunun mekanik, elektronik ve bilgisayar bileşenleri üzerinde durulmuş ve bu bileşenler temel prensip olarak anlaşılır bir şekilde açıklanmış ve yorumlanmıştır. Bu bileşenlerin yapılarının nasıl olacağı, nasıl çalışabilecekleri ve özelliklerinin neler olması gerektiği konuları anlatılmış ve tasarlanmıştır. Bu bilgiler ışığında tıbbi robotların mekanik, elektronik ve yazılımsal gelişimlerine farklı bakış açıları getirilebilir ve yeni tasarımlar gerçekleştirilirken dikkat edilecek konular belirlenebilir.

Her teknolojik gelişme bir sonraki adıma oranla yenilenmeye ve gelişmeye ihtiyaç duyar. Bu kural çerçevesinde son derece gelişmiş olan daVinci robotunun da bir takım yeniliklere gereksinim duyacağı kesindir. Bu tezde önerilen yenilikler temel olarak farklı sistemlerde farklı şekillerde ve farklı amaçlara uygun kullanılmakta veya kullanılacak olsa da esas olan daVinci sistemine bu gelişimlerin sistem genelindeki tasarım, güvenlik ve güvenilirlik gibi ana temelleri sarsmadan adapte edilmesidir. Bu şartlar dahilinde bu tezde daVinci sistemi için öne sürülen teknolojik gelişmeler; internet üzerinden kontrol tekniğinin araştırılması, ultrason teknolojisinin daVinci sistemine uygunlaştırılması ve dokunma hissinin kazandırılmasıdır.

İnternet üzerinden gerçek zamanlı uygulamalar günümüzde sıkça uygulanmaktadır. Cerrahi alanda gerçek zamanlı uygulamalarda en dikkat edilecek husus zaman gecikmesidir. Başka alanlarda gerçek zamanlı uygulamalarda bir saniye bile önemsiz olmaktayken tıbbi alanda bu süre maksimum 200ms'dir. Bu süreyi yakalayabilmek için internet protokollerinden UDP'nin kullanılması uygun görülmüştür. UDP protokolüne genel bir bakış yapılmış ve bu protokol kullanılarak gerçek zamanlı uygulamaların cerrahi alanda belirlenen süre aralığında ve istenilen güvenlik kriterleri içerisinde yazılımla sağlanabileceği çalışmalarına ve ölçümlerine yer verilmiştir.

Ultrason teknolojisi tıbbın farklı alanlarında kullanılmaktadır. daVinci sisteminin kullanıldığı kalp cerrahisinde endoskopun, kanın opak renginden dolayı kalbin içini net gösterememesinden kaynaklanan görme zorlukları operasyon esnasında kalbin bypass yapılmasını gerektirmektedir. 3D ultrasonun daVinci sistemine adapte edilmesiyle bu sorunun aşılacağı belirtilmiştir. Bunun için, cerrahi robotların görüntüleme sistemi olan 3D endoskopun sağladığı kaliteli operasyon alanı görüntüsünün 3D ultrasonik görüntü teknolojisi ile atan kalp içerisinde elde edilebileceği deneylerle gösterilmiştir. Ayrıca ultrasonik görüntüleme teknolojisinin hasta üzerinde ekstra operasyon kesilerine gerek duymaması ve kesi sayısını azaltması ekstra bir tercih nedeni olarak görülebilir.

Uzay çalışmalarının geliştirilmesinde de kullanılan dokunma hissinin elde edilmesi daVinci sisteminde elde edilebilecek en büyük gelişmelerden bir tanesidir. Çünkü operasyon yapan cerrahların organı hissetme ihtiyacı daVinci sisteminde şu ana kadar giderilememiştir ve bu durum cerrahların daVinci sistemi dahil olmak üzere robotik cerrahiye soğuk kalmalarına neden olmaktadır. Bu olumsuzluk sırf cerrahların geleneksel cerrahiye olan düşkünlüğü olarak algılanmamalı, organlardaki tümör gibi dokuların hissedilme zorunluluğunun tıbbi bir işlem basamağı olduğu göz ardı edilmemelidir. İşte bu nedenle dokunma hissinin enstrümanlar vasıtası ile cerraha gönderilmesi günümüzde büyük önem arz etmektedir. Dokunma hissi için çeşitli teknolojiler geliştirilebilir, çeşitli teknikler uygulanabilir. Bu tekniklerden şekil hafızalı alaşım (SMA) kullanılarak yapılan çalışmalar gösterilmiş ve gelecekte

kullanılacak bu sistem için basit bir dizayn örneği verilmiştir. Bu gelişmede elektronik alanındaki çalışmaların yanı sıra kullanılan materyalden ve montaj yerinin öneminden dolayı mekanik alandaki çalışmalarında çok hassas ve önemli olduğu görülmektedir. Dokunma hissi gelecek yılların konusu olacaktır.

Tüm bu bahsedilenler ışığında daVinci sisteminin robotik cerrahide çok önemli bir kilometre taşı olduğu ve bu sistemin geliştirilmesinin büyük önem arz ettiği görülmektedir. Bahsedilen gelişmeleri güvenli, güvenilir ve onay verilmiş duruma getirmek için bilgi, birikim ve sermaye bir araya getirilmelidir. Bu çalışmalar başka alanlarda da teknolojik gelişmelerin önünü açacaktır.

KAYNAKLAR

1. Akoğlu,A.; "Robotlar", ***Bilim Çocuk***, 10-15 (2002)

2. Barutçuoğlu, E.I.; "Robotların Tarihçesi", http://robot.cmpe.boun.edu.tr/593/history.pdf , (2.7.2001)

3. Senel, F., ***Bilim Teknik***, 99 (Mart 2003)

4. Davies, B.; "A Review of Robotics in Surgery", ***Proceedings of Institue of Mechanical Engineering***, 214:129-140 (1999)

5. Howe, R., Matsuoka, Y.; "Robotics for surgery", ***Annu. Rev. Bioengineer***, 211–240 (1999)

6. Hunter, I.W., Lafontaine, S., Nielsen, P.M.F., Hunter, P.J., Hollerbach, J.M.; "Manipulation and dynamic mechanical testing of microscopic objects using a tele-micro-robot-system", ***IEEE Uluslararası Konferansı***, 1553-1558 (Mayıs 1989)

7. Butner, S.E., Ghodoussi, M.; "Transforming a surgical robot for human telesurgery", ***IEEE transactions***, 818-824 (Ekim 2003)

8. Taylor, R.H., Lavallee, S., Burdea, G.C., Mosges, E.R.; "Computer Integrated Surgery Technology and Clinical Applications", ***The MIT Pres***, Cambridge, 1–736 (1995)

9. Low, S.C., Phee, L.; "A review of master-slave robotic systems for surgery"; ***IEEE Uluslararası Konferansı***, 37-42 (2004)

10. Taylor, R.H.; "Robots as surgical assistants: where we are, wither we are tending and how to get there", ***Conference Proceedings,*** Solihull, 12-24 (1998)

11. Lanfranco, A.R., Castellinos, A.E., Desai, J.P., Meyers, W.L.; "Robotic Surgery a current perspective", ***Ann Surg***, 239:14-21 (2004)

12. Taylor, R.H., Lavallee, S., Burdea, G.C., Mosges, E.R., Sheridon, T.; "Human factors in telesurgery", ***MIT Pres,*** Cambridge, 223-230 (1996)

13. Bergamasco, M., Dario, P., Sebatini, A.; "Advanced Interface for teleoperated biomedical robots", ***IEEE Uluslararası Konferansı***, 912-913 (Kasım 1989)

14. Sönmez, B., Yılmaz, O, Arbatlı, H., Yağan, N., Tükenmez, F., Demirsoy, E.; "Robotik Cerrahi", ***Memorial Hastanesi, Kalp ve Damar Cerrahisi Bölümü***, İstanbul, 1-46 (2005)

15. Langenburg, S.E., Knight, C.G., Klein, M.D.; "Robotic Surgery", ***Long Term Eff Med Implants***, 429-436 (2003)

16. Camerillo, D.B., Krummel, T.M., Salisbury, J.K.; "Robotic Technology in Surgery: past, present and future", ***The American Journal of Surgery***, 188:15-23, (Ekim 2004)

17. Jakopec, M., Haris, S.J., Rodruguez, B., Games, P., Cobb, J., Davies, B.L.; "The first clinical application of a hans-on robotic knee surgery system", ***Bilgisayar destekli cerrahi***, 6:829-839 (2001)

18. Cleary, K. Nguyen, C.; "State of the art in surgical robotics: clinical applications and technology challenges", ***Bilgisayar destekli cerrahi***, 6:312-328 (2001)

19. Folk, V., Gummert, J.F., Walter, T., Hayase, M., Berry, G.J., Mohr, F.W.; "Quality of computer anhanced totally endoscopic coronary bypass graft anastomasis comparison to conventional technique", ***Kalp cerrahisi***, 15:260-264 (1999)

20. Intiutive Surgical, "daVinvi User Manuel", ***Intiutive Surg. Inc.***, Sunnyvale, CA, 1-170 (2005)

21. Bate,L., Cook,C.; "The Feasibility of Force Control Over the Internet", ***Wollongong Üniversitesi, Robotik ve Otomasyon Avustralya Konferansı***, 2522 (14-15.11.2001)

22. Tsumaki, Y., Goshozono, T., Abe, K., Uchiyama, M.; "Verification of an Advanced Space Teleoperation System Using the Internet", ***Akıllı Robotlar ve Sistemler IEEE/RSJ Uluslararası Konferansı***, 1167-1172 (2000)

23. Anderson, R., Spong, M.; "Bilateral Control of Teleoperators with Time Delay Decision and Control", ***27. IEEE Konferansı***, 167-173 (7-9 Aralık 1988)

24. Cook, A.S., Woollacott, M.; "Motor Control Theory and Practical Applications", ***Lippincott Williams ve Wilkins***, 2.baskı, 1-552 (2000)

25. Wierwille, W., Casali, J., Repa, B.; "Driver steering reaction time to abrupt-onset crosswids, as measured in a moving-base Simulator", ***Human Factors***, 25:103-116, (1983)

26. Skubic, M., Volz, A.; "Acguiring robust, force-based assembly skills from human demonstration", ***IEEE Transactions, Robotik ve Otomasyon***, 16:772-781 (Aralık 2000)

27. Allman, M., Hayes, J., Kruse, H., Osterman, S.; "TCP Performance Over Satellite Links", ***5.Uluslararası Telekominikasyon Sistemleri Konferansı***, 456-469 (Mart 1997)

28. Taffinder, N. ve arkadaşları; "The effect of a second-generation 3d endoscope on the laparoscopic precision of novices and ezperienced surgeons", ***Surg. Endosc.***, 13:1087-1092 (1999)

29. Suematsu, Y. ve arkadaşları; "Three dimensional echocardiography-guided beeting hearth surgery without cardiopulmonary bypass: a feasibility study", ***J. Thor. Card. Surg***, 128:579-587 (2004)

30. Novotny, P.M., Ketler, D.T., Jakobsen, S.K., Vasilyev, N.V., Dupont, P.E., delNido, P.J, Howe, R.D.; "3D Ultrasound in robotic surgery: performance evaluation with stereo displays", ***Int J Med Robotics Comput Assist Surg***, 2:279-285 (2006)

31. Taffinder, N. ve arkadaşları; "The effect of second generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons", ***Surg. Endosc.***, 13:1087-1092 (1999)

32. Peine, B., Son, J., Howe, R.; "Remote Palpation Instruments", ***IEEE Engineering in Medicine and Biology***, 14(3):318-323 (1995)

33. Wellman, P., Peine, B, Howe, R.D., Favalora, G.; "Mechanical design and control of a hish-bandwidth shape memory alloy tactile display", ***Experimental Robotics V. Uluslar arası Sempozyumu***, Barcelona, İspanya, 15-18 (1997)

34. Akdoğan, A., Nurveren, K.; "Şekil hafızalı alaşımlar", ***Mühendis ve Makine dergisi***, 521 (Haziran 2003)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: ÖZÇILNAK, Seçil
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 27.11.1982 İzmir
Medeni hali	: Bekar
Telefon	: 0 232 224 74 22
Faks	: 0 232 224 74 22
e-mail	: ozcilnak@yahoo.com

Eğitim

Derece	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet tarihi**
Lisans	Gazi Üniversitesi/ TEF Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği	2004
Lise	İzmir Çınarlı ATEML	2000

İş Deneyimi

Yıl	**Yer**	**Görev**
2004 –	İTO Vakfı Süleyman Taştekin Anadolu Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi	Teknik Öğretmen

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar Teknolojileri, Robotik, Yüzme, Formula 1 Yarışları