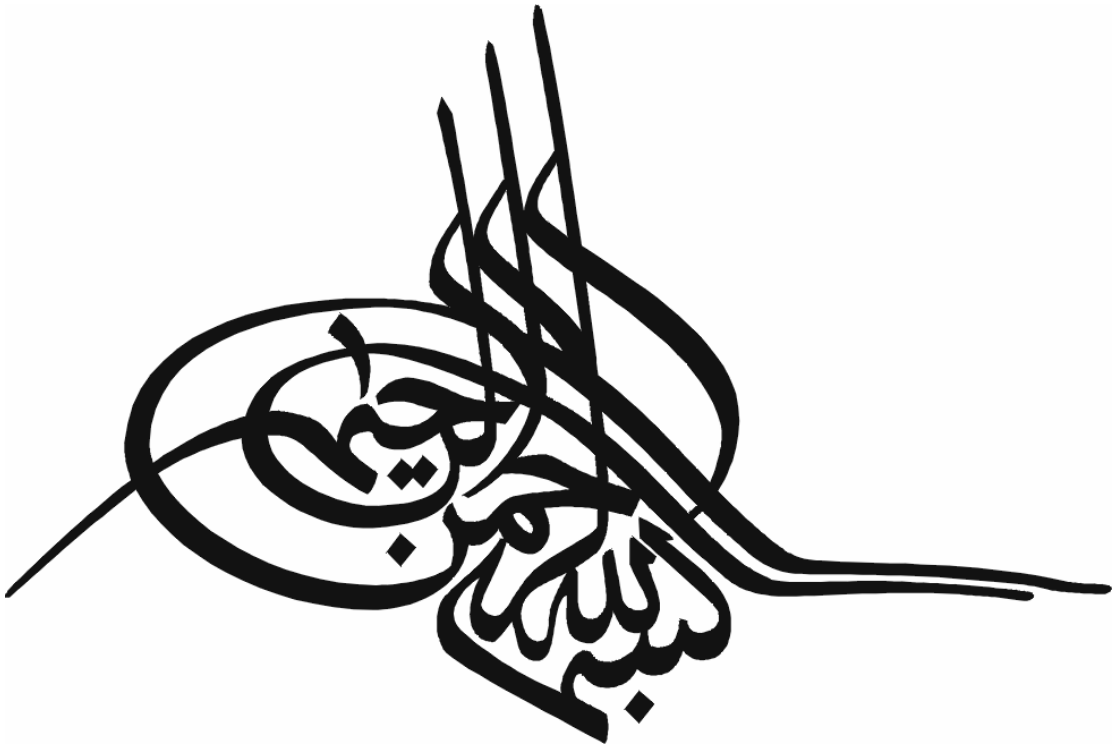

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی پزشکی گرایش بیوالکتریک

عنوان پایان نامه:

تشخیص و کمی سازی حرکت مفاصل به کمک پردازش تصاویر ویدئویی

استاد راهنما :
آقای دکتر محمد پویان

نگارش: رضا امینی

زمستان ۱۳۹۱

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که تشویق‌هایشان دلگرمی
و پشتوانه همیشگی‌ام بوده و هست.

از زحمات بی‌دریغ استاد گرانقدر دکتر پویان که همواره از راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند بوده‌ام تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

تجزیه و تحلیل اختلالات حرکتی انسان به ویژه راه رفتن به کمک پردازش تصاویر ویدئویی، از زمان ظهور دوربین مورد توجه قرار گرفته است. از همان زمان تحقیقات به منظور توصیف و درک کامل فرایند پیچیده حرکت انسان سرعت روز افزون یافت. آنالیز راه رفتن یکی از زیرشاخه‌های تحلیل حرکت می‌باشد که بطور خاص به بررسی نحوه راه رفتن می‌پردازد. آنالیز حرکت برای ارزیابی، برنامه‌ریزی و درمان نحوه حرکت کردن افراد و به خصوص افراد آسیب‌دیده به کار می‌رود. از این رو تشخیص و کمی سازی اختلالات حرکتی کمک شایانی به منظور اصلاح این اختلالات می کند.

در این پایان نامه با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر ویدئویی، سیستمی طراحی و تحلیل می‌گردد که به بررسی و کمی‌سازی ویژگی‌های حرکتی انسان طی راه رفتن می‌پردازد. این سیستم از هیچ نوع نشانگر بر روی بدن استفاده نمی‌کند. ما در ابتدا با تشخیص و حذف پس‌زمینه، فرد متحرک را شناسایی کرده و سپس به کمک تکنیک‌های پردازش تصویر و دانش قبلی نسبت به حرکت و اندازه هر یک از اعضا به استخراج پارامترهای پویا از جمله سرعت، دوره حرکت و تعداد قدم در دقیقه و نیز پارامترهای ایستا مانند زوایای مفاصل تحتانی، زوایای انحناهای کمری و همچنین زاویه شانه و مرکز جرم بدن می‌پردازیم.

کلمات کلیدی: تجزیه و تحلیل راه رفتن، حرکت مفاصل، پردازش تصاویر ویدئویی

فهرست مطالب

۱ فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ توصیف راه رفتن ۴

۱-۳ کاربرد های آنالیز حرکت ۴

۱-۳-۱ نظارت ۵

۱-۳-۲ کاربرد کلینیکی ۵

۱-۳-۳ کاربرد در ورزش ۶

۱-۳-۴ کاربرد در گرافیک کامپیوتری ۶

۱-۴ مروری بر پایان نامه ۶

۲ فصل دوم: مروری بر پیشینه کارها ۹

۲-۱ مقدمه ۹

۲-۲ استفاده از چند دوربین ۱۳

۲-۳ استفاده از تک دوربین ۱۳

۲-۳-۱ استفاده از مدل ۱۴

۲-۳-۲ استفاده از توصیفگر های تصویر ۱۵

۲-۳-۲-۱ نیمرخ ۱۵

۲-۳-۲-۲ حرکت ۱۵

۲-۳-۲-۳ رنگ ۱۶

۲-۳-۲-۴ لبه ۱۷

۲-۴ جمع بندی فصل ۱۸

۳ فصل سوم: جداسازی پس‌زمینه ۲۰

۳-۱ مقدمه ۲۰

۳-۲ کانتور فعال ۲۰

۳-۳ فیلتر کالمن ۲۳

۳-۴ روش گوسی تطبیقی ۲۶

۳-۵ میانگین‌گیری زمانی از فریم‌ها ۲۷

۳-۶ روش مورد استفاده برای استخراج پس‌زمینه ۲۸

۳-۷ جمع بندی فصل ۳۰

۴ فصل چهارم :تقسیم‌بندی قسمت‌های بدن در تصویر ویدئویی ۳۲

۴-۱ مقدمه ۳۲

۴-۲ جریان نوری ۳۲

۴-۳ الگوریتم هاف ۳۵

۴-۴ الگوریتم آناتومیکی نسبت های بدن ۳۶

۴-۵ روش به کاررفته ۳۸

۴-۶ جمع بندی فصل ۳۸

۵ کمی‌سازی پارامترهای بدن ۴۰

۵-۱ مقدمه ۴۰

۵-۲ پارامترهای پویا ۴۰

۵-۲-۱ بدست‌آوردن بلوک xyt ۴۱

۵-۲-۲ طول و زمان قدم ۴۲

۵-۳ پارامترهای ایستا ۴۶

۵-۳-۱ زاویه شانه ۴۶

۵-۳-۲ ستون فقرات ۵۰

۵-۳-۳ مفاصل قسمت تحتانی ۵۳

۵-۳-۴ مرکز جرم ۵۸

۵-۴ جمع بندی فصل ۶۱

۶ فصل ششم: نتایج و پیشنهادات ۶۳

۷ مراجع ۶۶

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ نمایی از سیستم های اپتوالکترونیکی..... ۱۰

شکل ۲-۲ کفش و صفحه ثبت نیرو..... ۱۰

شکل ۲-۳ ژیروسکوپ با قابلیت اندازه گیری شتاب و سرعت زاویه ای در سه جهت..... ۱۱

شکل ۲-۴ نمایی از دستگاه الکتروژنیومتر و نمایی از سیستمهای مغناطیسی به همراه سنسور..... ۱۲

شکل ۱-۳ کانتور فعال پیرامون شئ و میدان نیروی خارجی ۲۳

شکل ۳-۲ تصویر پس زمینه استخراج شده از روش میانگین گیری ۲۷

شکل ۳-۳ روش جدید برای استخراج پس زمینه ۲۹

شکل ۳-۴ تصویر میانگین‌گیری شده به روش پیشنهاد شده ۳۰

شکل ۴-۱ حرکات قابل تشخیص در روش جریان نوری..... ۳۳

شکل ۴-۲ کاربرد تبدیل هاف در تشخیص دایره و خط ۳۶

شکل ۴-۳ استخراج نسبت های آناتومیکی ۳۷

شکل ۵-۱ تصویر نوار ها ناشی از راه رفتن..... ۴۱

شکل ۵-۲ استخراج دوره حرکت از روی تصاویر ساجیتال ۴۳

شکل ۵-۳ استخراج دوره حرکت از روی تصاویر فرونتال ۴۴

شکل ۵-۴ منحنی F بیانگر تعداد پیکسل ها در ناحیه ساق پا به همراه خط مماس شده بر منحنی ۴۵

شکل ۵-۵ نمایی از رابط گرافیکی کاربر برای تعیین پارامتر های پویا..... ۴۵

شکل ۵-۶ المان مشتق گیری از تصویر ۴۷

شکل ۵-۷ تصویر تعیین زاویه شانه ها ۴۷

شکل ۵-۸ نمایی از رابط گرافیکی کاربر برای محاسبه زاویه شانه ۴۸
شکل ۵-۹ نمودار منحنی زوایای شانه ۴۹
شکل ۵-۱۰ استخراج زوایای انحنای ستون فقرات ۵۱
شکل ۵-۱۱ رابط گرافیکی کاربر برای محاسبه انحنای ستون فقرات ۵۲
شکل ۵-۱۲ زوایای کمری برای انحنای کیفوز و لوردوز ۵۳
شکل ۵-۱۳ استخراج مفصل اندام تحتانی ۵۵
شکل ۵-۱۴ استخراج زاویه مفصل دارای هم پوشانی اندام تحتانی ۵۶
شکل ۵-۱۵ زاویه مفصل زانو در یک سیکل حرکت در تصویر ویدئویی ۵۷
شکل۵-۱۶ تعیین مرکز جرم بدن به کمک تعیین ناحیه گردن ۵۹
شکل ۵-۱۷ نسبت های آناتومیکی در بدن ۶۰
شکل ۵-۱۸ تغییرات مرکز جرم فرد نرمال و بیمار پارکینسون ۶۱

فهرست جداول

جدول ۴-۱ ..... ۳۸

جدول ۵-۱ ..... ۴۶

جدول ۵-۲ ..... ۵۷

۱

مقدمه

۱ فصل اول: مقدمه

۱-۱ مقدمه

راه رفتن فعالیتی اکتسابی است که به مرور زمان آموخته شده و با تکرار، عادت می‌شود. با گذشت زمان، عادات راه‌رفتن برای هر فرد شکل می‌گیرد، که باعث می شود راه رفتن او حالتی منحصر به فرد پیدا کند. نحوه راه رفتن هر فرد می‌تواند علامتی برای تشخیص مشکلات او باشد. معمولاً برخی از مشکلات بیماران قبل از معاینه، از راه‌رفتن آنان مشخص می‌شود. تجزیه و تحلیل راه رفتن روشی مناسب برای اندازه‌گیری میزان انحرافات و تأثیر درمان است. عوامل زیادی از قبیل درد به هنگام راه رفتن، ضعف عضلات، محدودیت حرکت به دلیل کوتاهی عضلات، عدم هماهنگی حرکات، تغییرات استخوانی و بافت‌ها، موجب تغییراتی در راه‌رفتن عادی می‌شوند. آ**نالیز حرکت** (Gait Analysis)، به علم مطالعه نحوه حرکت حیوانات، و به طور تخصصی تر نحوه حرکت انسان، با استفاده از ابزارهای اندازه گیری حرکت بدن، فعالیت عضلات بدن و همچنین چشم و مغز مشاهده کننده، گفته می‌شود. آنالیز راه رفتن یکی از زیرشاخه‌های تحلیل حرکت می‌باشد که بطورخاص به بررسی نحوه راه‌رفتن می‌پردازد. راه‌رفتن نادرست می تواند باعث بروز مشکلاتی در ستون فقرات و گردن، مفاصل پا و درنهایت منجر به خستگی، درد مفصلی و عضلانی شود. در نتیجه؛ تصحیح اشتباهات راه‌رفتن می‌تواند از بروز مشکلات یاد شده جلوگیری نماید. با پیشرفت علوم عکسبرداری و فیلمبرداری، تهیه تصاویر پشت سر هم از روند حرکت انسان میسر شد[۱]. این امر به کشف شدن برخی از زوایای پنهان علم حرکت انسان منجر شد که

تا پیش از آن زمان، فهمش با چشم غیر مسلح امکان پذیر نبود. در سال ۱۹۷۰ اولین سیستم‌های تجاری در دسترس قرار گرفت[۲] در نتیجه کاربرد های زیادی از آنالیز حرکت انسان مانند فلج مغزی، پارکینسون، اختلالات عصبی عضلانی مطرح شد. با وجود در دسترس بودن دوربین‌های فیلمبرداری توانایی مطالعه دقیق‌تر بر روی داده‌ها امکان‌پذیر شد. با توسعه جراحی‌های ارتوپدی به منظور بررسی نتایج حاصل از عمل‌های جراحی، آنالیز حرکت توسعه بیشتری یافت. به طوریکه در برخی از بیمارستان ها با کمک ابزارهای جدید مانند کامپیوتر، دوربین‌های مادون قرمز، سنسورهای نوری و حرکتی و... آزمایشگاه‌های جدیدی در این زمینه شروع به کارکرد و با رشد سریع در افزایش قدرت محاسبات، تکنیک های تجزیه و تحلیل حرکت نیز پیشرفت قابل قبولی یافت.

چهار کاربرد اصلی جهت انجام تجزیه و تحلیل راه‌رفتن کلینیکی در مقالات ارائه شده است:[۳]

۱. به منظور تشخیص بین مولفه‌های بیماری؛

در این مرحله ما می‌توانیم در تشخیص هر بیماری بر اساس ویژگی‌های آن بیماری نسبت به موارد دیگری که نسبت به ویژگی مورد نظر متفاوت هستند، تفکیک ایجاد کنیم.

۲. به منظور ارزیابی شدت، وسعت و یا ماهیت یک بیماری یا جراحت.

در این مرحله بعد از تشخیص یک بیماری می‌توان ویژگی‌های تشخیصی آن بیماری را به منظور بررسی روند بیماری کمی‌سازی کرد.

۳. به منظور نظارت بر پیشرفت هنگام وجود یا عدم وجود دخالت.

در این مرحله با اعمال یک عامل خارجی برای مثال دارو و یا توانبخشی روند بهبود بیمار را بررسی می‌کنیم.

۴. به منظور پیش‌بینی نتایج حاصل از مداخله (و یا عدم وجود مداخله).

در این مرحله براساس نتایج به دست‌آمده از مرحله قبل می‌توان یک پیش‌بینی از اثر عامل خارجی بر بیماری ارائه داد که این امر می تواند در انتخاب راهکارهای درمان تاثیرگذار باشد.

۱-۲ توصیف راه رفتن

برای توصیف راه رفتن ابتدا باید به بیان یک سری از تعاریف بپردازیم. اولین تعریف چرخه راه‌رفتن[۱] است. از تماس یک پا تا زمانی که همان پا دوباره با زمین تماس پیدا کند را یک چرخه راه‌رفتن گویند. هر چرخه حرکت دارای دوفاز است در ابتدای تماس پا با زمین فاز ایستا[۲] شروع می‌شود؛ در این حالت مچ پا منقبض شده و کل وزن بدن بر روی یک پا قرار می‌گیرد، این در حالی است که پای دیگر از زانو خم شده و به سمت جلو حرکت می‌کند . هنگامیکه پا از زمین بلند می‌شود این فاز پایان‌یافته و فاز نوسان[۳] شروع می‌شود. شروع فاز نوسان زمانی است که انگشتان پا از روی زمین بلند می‌شود. فاز ایستا در حدود ۶۰ درصد چرخه راه‌رفتن و فاز نوسان در حدود ۴۰ درصد چرخه را به خود اختصاص می دهد. در هر چرخه راه‌رفتن دو مرحله وجود دارد که هر دو پا روی زمین قرار دارد که هر یک از این دومرحله نزدیک به ۱۰ تا ۱۲ درصد چرخه را به خود اختصاص می-دهد[۴].

طول گام[۴] برابر است با فاصله مکانی، هنگام برخورد پاشنه یک پا تا زمانی که پاشنه همان پا دوباره با زمین برخورد کند. و طول قدم[۵] فاصله مکانی بین برخورد پاشنه یک پا با زمین تا پاشنه پای دیگر تا زمین را بیان می‌کند. آهنگ راه رفتن[۶] بیان گر تعداد قدم ها در طول یک دقیقه است.

۱-۳ کاربرد های آنالیز حرکت

آنالیز حرکت در طیف گسترده‌ای از علوم کاربرد دارد. مثلا می‌توان با اندازه‌گیری پارامترهای مختلف مربوط به حرکت، نتیجه یک عمل جراحی یا روش درمانی را برای یک بیماری ، قبل و بعد از درمان، ارزیابی کرد و در صورت نیاز اصلاحات مناسب را برای بهبود عملکرد بیمار به‌کار برد. در ورزش نیز با بررسی حرکات ورزشی مورد

---

[1] Gait Cycle
[2] Stance
[3] Swing
[4] Stride Length
[5] Step Length
[6] cadence

نظر می‌توان روش‌های مناسب جهت بهبود کارآیی و تصحیح تکنیک‌ها و تجهیزات ورزشی را به‌کارگرفت. در زیر به چند نمونه از مهمترین کاربردهای آنالیز حرکت می‌پردازیم.

۱-۳-۱ نظارت

با گسترش دوربین‌های نظارتی و هزینه‌بر بودن به کار بردن پردازش های دستی بر روی اطلاعات جمع آوری شده توسط این دوربین ها، نیاز یک سیستم نظارتی که به صورت زمان واقعی بتواند این اطلاعات را پردازش کند بیشتر احساس می‌شود. این نظارت در ابتدا در سطح پایین‌تری برای تعیین تعداد و نحوه عبور و مرور وسایل نقلیه و یا کسب اطلاعات آماری مطرح شد. اما در سالهای اخیر این تکنولوژی در سطح بالاتری برای نظارت بر فروشگاهها، دستگاههای خودپرداز،کنترل تعداد افراد و... به کاررفت. امروزه این سیستم‌ها برای تعیین هویت افراد از روی الگوی حرکتی آنها توسعه زیادی یافته است. استفاده از سیستم‌های نظارتی به کمک دوربین این مزیت را داراست که، دیگر نیازی به همکاری فرد نبوده و در صورت پنهان بودن چهره هنوز هم هویت فرد قابل تشخیص است[۵].

۱-۳-۲ کاربرد کلینیکی

هدف از آنالیز بالینی راه‌رفتن، بررسی و یادگیری علائم ناشی از یک بیماری بر گروه‌های مختلفی از افراد، و یا اثر مداخله و روش‌های بکار رفته در درمان بر روی روند بیماری است. برای رسیدن به این هدف اندازه‌گیری کمی حرکت قسمت‌های مختلف بدن انسان مانند چرخش زاویه ای و حرکت مفاصل ، تغییرات در مرکز جرم ، تغییرات در دوره حرکت و... از اهمیت زیادی برخوردار می‌گردد[۶]. استفاده از روش های آنالیز حرکت باعث کمک به تشخیص بیماری برای افراد متخصص و یا تشخیص خودکار بیماری در مواردیکه فرد دسترسی به متخصص ندارد ، کاربرد دارد.

۱-۳-۳ کاربرد در ورزش

تجزیه و تحلیل حرکت جهت بهینه سازی و بهبود تکنیک های ورزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال: تعیین دقیق میزان جابجائی، سرعت، شتاب و تعیین بازه حرکت هریک از مفاصل بدن، مقایسه نحوه انجام یک تکنیک بین ورزشکاران و... با آنالیز حرکت امکان‌پذیر است. با بررسی تخصصی و آنالیز حرکت می‌توان از بروز آسیب‌های شایع در ورزش جلوگیری کرد و مفید یا مضر بودن یک حرکت را تعیین نمود.

۱-۳-۴ کاربرد در گرافیک کامپیوتری

گرافیک کامپیوتری، روز به روز بیشتر خود را در فیلم ها و بازی های ویدئویی نمایان می‌کند و البته همواره به سوی واقع‌گرایانه‌تر شدن پیش می‌رود. از این رو در تکنیک های جدید از تقلید حرکات بدن برای واقعیت بخشی در انیمشن‌ها استفاده می‌شود. در این روش با تعیین محل و ردگیری اعضای بدن مدل پیش ساخته ای را برای دنبال کردن تعیین می‌کنند. این مدل حرکات فرد را به کمک الگوریتم های ردگیری دنبال کرده سپس به کمک جلوه‌های گرافیکی شخصیت انیمیشنی را بر روی این مدل تطبیق می‌دهد.

۱-۴ مروری بر پایان نامه

این پایان نامه در شش فصل تنظیم شده است که در طی آنها سعی می‌شود، ضمن شرح پایه های تئوری مسئله و اشاره به تحقیقات مشابه قبلی، فعالیت های انجام شده در طی این پروژه ارائه گردد. در فصل اول با بیان مقدمه ای به توصیف راه رفتن و کاربرد های تجزیه و تحلیل آن می پردازیم. در فصل دوم به بررسی کارهای گذشته در این زمینه پرداخته و مزایا و معایب تکنیک های موجود را مقایسه می کنیم. فصول سوم و چهارم به مرحله پردازش اولیه می پردازد به طوری که در فصل سوم روش های مختلف حذف پس‌زمینه و در فصل چهارم تکنیک های تفکیک و جداسازی مطرح شده و روش‌های به کار رفته در این پروژه برای هر یک بیان می گردد. فصل پنجم به تعیین پارامتر های پویا و ایستا می پردازد. از پارامتر های پویای بیان شده می توان به سرعت و دوره حرکت و نیز تعداد قدم در دقیقه و از پارامتر های ایستا به زوایای مفاصل تحتانی، انحناهای

کمری و همچنین زاویه شانه و مرکز جرم اشاره کرد. با استخراج ویژگی های فوق صحت آنها به وسیله مقایسه ویژگی‌ها، با مقادیر دستی اندازه‌گیری شده بررسی می شد. در فصل هفتم با بیان نتیجه گیری، ایده های پایان نامه مطرح شده و پیشنهاد های پایانی برای ادامه کار آورده شده است.

۲

مروری بر پیشینه کارها

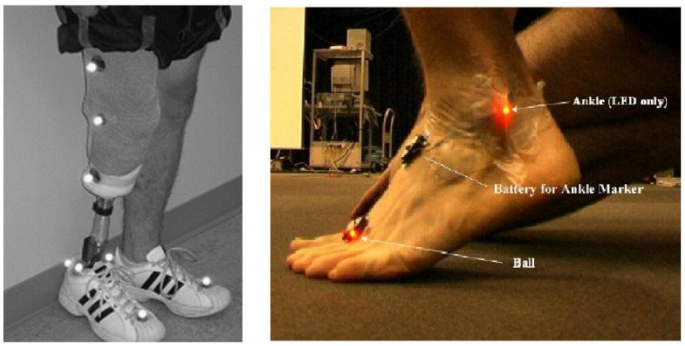
۲ فصل دوم: مروری بر پیشینه کارها

۲-۱ مقدمه

اکثر مطالعات مربوط به راه‌رفتن در آزمایشگاه‌های راه‌رفتن انجام می‌شود که قابل مقایسه با شرایط و عملکرد بیمار در منزل یا محل کار نیستند. این مطالعات به بررسی اختلالات راه‌رفتن محدود هستند، در حالیکه نیاز به ارزیابی ناتوانیها و نیازهای فردی هر بیمار وجود دارد. به طورکلی روش‌های ارائه شده در مقالات به‌شدت به نحوه ثبت داده وابسته‌اند و از طرفی نحوه ثبت داده نیز به ابزارها و تکنولوژی ثبت وابسته می‌شود.

ابزارهای زیادی برای ثبت داده به منظور آنالیز حرکت مانند سیستم‌های الکترومکانیکی، سنسوری، امواج الکترومغناطیس، مادون قرمز و غیره... وجود دارد که می‌تواند در توانبخشی بیماران مفید باشد. در ادامه به بررسی برخی از این روش‌ها می‌پردازیم

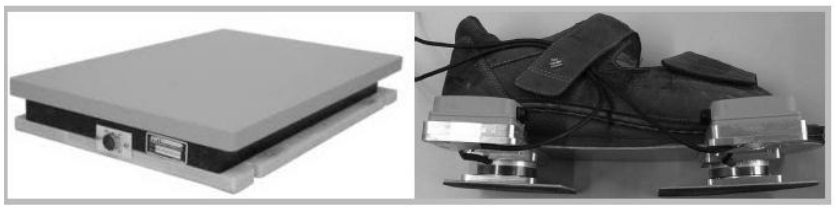
سیستم های الکترونیک نوری: سیستم اپتوالکترونیکی سیگنال‌های نور را به سیگنال‌های الکتریکی تبدیل کرده و نور گسیل یا منعکس‌شده به وسیله نشانگرها را دنبال می‌کند. نشانگر فعال یک سیگنال منتشر می-کند که به صورت LED های کوچک هستند که می‌تواند به فرد متصل شوند. نشانگرهای غیر فعال در حقیقت نور تابش شده از دوربین های مادون قرمز را منعکس می‌کنند.[۷]



شکل ۲-۱ نمایی از سیستم های اپتوالکترونیکی

الکترومیوگرافی: الکترومیوگرافی (EMG) برای شناسایی و اندازه گیری جریان الکتریکی کوچک که توسط انقباض عضلات ایجاد می‌شود مورد استفاده قرار می‌گیرد. سنسورها را می‌توان بر روی پوست و یا به کمک الکترودهای مخصوص، داخل عضله قرار داد. قرار دادن سنسور بر روی پوست به منظور بررسی فعالیت یک عضله خاص می‌تواند باعث ثبت اشتباه از عضلات در مجاورت آن شود درحالیکه قراردادن الکترودهای داخلی با وجود تهاجمی بودن ثبت دقیق‌تری از فعالیت عضلات می دهد.[۸]

صفحات و کفش ثبت نیرو: یک صفحه نیرو، متشکل از ورق فولاد با مبدل های قرارگرفته بر روی آن می-باشد. هنگامیکه یک‌بار به صفحه اعمال می‌شود، نیرو توسط مبدل شناسایی شده و به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. به‌وسیله این صفحات می‌توان اندازه و جهت نیروها و نیز مرکز اصلی فشار لحظه‌ای را محاسبه نمود. کفش‌های ثبت نیرو معمولا از سلول های بار فیزوالکتریک نصب شده بین دوصفحه فلزی، تشکیل شده‌اند. سلول‌های بار شامل یک کریستال کوارتز هستندکه هنگام اعمال یک فشار مکانیکی تولید بارالکتریکی می-نمایند.[۹]



شکل ۲- ۲ کفش و صفحه ثبت نیرو