

## طراحی نرم افزار تجزیه و تحلیل حرکات در راه رفتن و دویدن

محمدرضا محمدی<sup>۱</sup>، دکتر هادی صدوقی یزدی<sup>۲</sup>، زهره حسین پور مطلق<sup>۳</sup>

۱. مربی دانشگاه تربیت معلم سبزوار

۲. استادیار دانشگاه تربیت معلم سبزوار

۳. کارشناس ارشد تربیت بدنی دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت مقاله: ۸۷/۵/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۷/۱۲/۲۱

### چکیده

هدف این تحقیق طراحی نرم افزاری برای تجزیه و تحلیل بیومکانیکی راه رفتن و دویدن در سرعت‌های مختلف و همچنین بررسی پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی با روشی جدید در ردگیری حرکت انسان بود.

در طراحی این نرم افزار دوازده مرد ورزشکار با میانگین‌های سنی  $26/80 \pm 3/68$  سال، وزن  $66/90 \pm 8/21$  کیلوگرم و قد  $1/70 \pm 0/04$  متر، به‌عنوان نمونه انتخاب شدند و بر روی مفاصل آنان نشانگرهایی نصب شد با سرعت‌های  $1/5$ ،  $3/5$ ،  $6$ ،  $8$ ،  $10$  و  $12$  کیلومتر بر ساعت بر روی تردمیل به راه رفتن و دویدن پرداختند که هم‌زمان با دوربین‌های سرعت بالا (۲۵۰ فریم در ثانیه) در دو سطح ساجیتال و فرونتال از آنان فیلم‌برداری شد.

در این پژوهش با طراحی نرم افزار پیش‌گو، نشانگرهای نصب شده را می‌توان ردگیری کرد. برای پیدا کردن نشانگرهایی که از دید دوربین ناپدید یا با هم جفت شده‌اند، یک افزایش نویز را به دنبال خواهد داشت که برای حل این مشکل، پیشنهاد روش تعقیبی مناسبی براساس حافظه‌گرایی در سیستم داده یابی ارائه شده است.

نتایج این تحقیق با بررسی بیش از سی هزار فریم تصویر صورت پذیرفت که با روش شبیه سازی اعتبار نتایج مورد بازبینی مجدد قرار گرفت و درستی اجرای صحیح این نرم افزار اثبات شد، همچنین این نرم افزار می‌تواند به راحتی تجزیه و تحلیل بیومکانیکی راه رفتن و دویدن را انجام دهد و پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی مربوط به آن را در دو سطح ساجیتال و فرونتال محاسبه نماید.

**واژه‌های کلیدی:** سینماتیک، سینتیک، تجزیه و تحلیل راه رفتن و دویدن، ردگیری، جفت شدگی

## مقدمه

راه رفتن انسان موضوع مهمی است که از دیر باز در تحقیقات گوناگون حائز اهمیت بوده است. برخی از پژوهشگران به این موضوع اعتقاد دارند که راه رفتن در آینده، ویژگی هویتی منحصر به فردی به شمار می آید (۱). بازشناختی راه رفتن انسان می تواند از طریق به کارگیری فیلم های ویدئویی صورت گیرد (۲). تحقیقات اخیر نشان می دهند افراد عادات خاص و مشخصی در راه رفتن دارند و شناسایی الگوی راه رفتن انسانها ممکن است به موارد بسیاری مانند اندازه های بدن (اندازه های آنتروپومتریکی)<sup>۱</sup> و شخصیت افراد بستگی داشته باشد که می توان با تصویر برداری از راه رفتن در یک مسیر حرکتی به الگوهای حرکتی آنها پی برد (۳). امروزه مطالعات بیومکانیکی مبتنی بر دستگاه های بینایی، یکی دیگر از کاربردهای تحلیل راه رفتن انسان است. تحقیقات زیادی در زمینه های ردگیری<sup>۲</sup> اجزای بدن انسان انجام شده است. ردگیری اطلاعات با توجه به معیارهای مختلف، به روش های متنوعی تقسیم می شود. در ردگیری نشانگرها ممکن است ما آن را به قسمت های مختلف بدن مانند دست، صورت، پا و غیره نصب کنیم (۴، ۵، ۶) و در نهایت بتوانیم کل بدن را ردگیری کنیم (۷). اگر تعداد دوربین های ملاحظه کننده زیاد باشند، هدایت تصویر به صورت یک کل از نظاره ها ردیابی و بدین صورت ردگیری انجام می شود. همچنین می توان معیارهای دیگری در ردگیری مانند ردگیری مبتنی بر سطح نظاره (نظاره های دوبعدی در برابر نظاره های سه بعدی)، نظاره های براساس محیط نشانگرها (با نشانگر یا بدون نشانگر)، ردگیری بر اساس افراد (تک نفره، چند نفره یا چند گروه از افراد)، مبتنی بر حالت دوربین ها (متحرک در برابر ساکن) یا بر اساس سنسورهای حساس (سنسورهای بینایی یا سنسورهایی با امواج صوتی) و غیره استفاده نمود.

تجزیه و تحلیل حرکت انسان از روی تصاویر ویدئویی کاربرد گسترده ای در دنیا دارد؛ از جمله اثر متقابل انسان و ماشین، ورزش، نظاره گره های امنیتی، بازیابی محتوایی و غیره را می توان نام برد، اما تحقیقات در این زمینه به ابزار و دستگاه های بینایی دقیقی نیاز دارد و از آنجایی که این ابزارها گران قیمت هستند و چه بسا دهها هزار دلار خروج ارز را در پی دارند، این موضوع می تواند با توجه به مشکلات و تحریم های اقتصادی کشور و کمبود بودجه های تحقیقاتی مراکز پژوهشی، باعث شود که پژوهشگران نتوانند تحقیقات گسترده ای در این زمینه انجام دهند؛ لذا ساخت این نمونه نرم افزارها کمک می کند تا هزینه های این نوع ابزارها کاهش یابد و پژوهشگران بیشتری را به سوی این نوع تحقیقات ترغیب نماید؛ بنابراین در این تحقیق بر آن

---

### 1. Anthropometric Measures

### 2. Tracking

شده‌ایم که با حداقل هزینه (حدود ۱۰ درصد هزینه یک دستگاه مشابه خارجی) برای اندازه‌گیری‌های لازم (با توجه به نوع کاربرد بیومکانیکی آن) نرم‌افزاری را طراحی کنیم که تجزیه و تحلیل حرکات انسان بر اساس یک ردگیری حافظه‌ای را در راه رفتن و دویدن انجام دهد.

هدف اصلی این نرم‌افزار این است که یک روش بدیع، پیش‌بینی و همواره کردن ردگیری‌هایی را پوشش دهد که بازتاب نور نشانگر تولید می‌کند در حقیقت پیش‌بینی کننده‌ها از ردیابی بازتاب نور نشانگرها و وضعیت قبلی آنان یک خط سیر بهینه‌ای را پیدا می‌کنند که یکی از امتیازات بارز این نرم‌افزار نسبت به دستگاه‌های مشابه خارجی است. موارد بسیاری در طرح‌های پژوهشی رخ می‌دهد که به علت گم شدن نشانگرها و یا جفت شدن (نزدیک شدن) آن از دید دوربین، به خطا دچار می‌شوند؛ لذا برای حل این موضوع نیاز است از چند دوربین در زوایای مختلف استفاده شود و این هزینه را افزایش می‌دهد. در صورتی که این نرم‌افزار می‌تواند بدون افزایش دوربین‌ها در یک سطح دو بعدی و بدون گم کردن و یا جفت شدن نشانگرها آنها را تعقیب کند. همچنین برای ردگیری نشانگرها در این نرم‌افزار به کالیبره کردن محیط نشانگرها احتیاج نیست؛ لذا می‌تواند از این جهات نیز تفاوت عمده‌ای از نمونه‌های خارجی خود دارد که در طرح‌های تحقیقاتی استفاده می‌شوند.

تفاوت روش‌های کاری برای تجزیه و تحلیل حرکت انسان مبتنی بر بینایی وجود دارد. گاوریل<sup>۱</sup> (۱۹۹۹) همه روش‌های پردازش روی تصاویر دو بعدی و سه بعدی را بر روی اشیایی با اشکال واضح یا ناواضح بررسی کرده است. او سه نوع روش تحلیل و تخمین حرکت را مورد نظر دانست: الف- تخمین حرکت انسان با توجه به مدل حرکت یا شکل عضو مورد بررسی با نام تخمین مبتنی بر مدل<sup>۲</sup>؛ ب- تخمین حرکت انسان یا تحلیل حرکتی که نیازی به مدل ندارد. در این نوع تحلیل با استفاده از اطلاعات سطح پایین برگرفته از تصویر به تحلیل حرکت می‌پردازند. این اطلاعات شامل لبه‌ها، رنگ یا بافت تصویری است که از تصاویر دو بعدی استخراج می‌شود؛ ج- در این روش به استخراج اطلاعات سه بعدی از تصاویری که در طول زمان دریافت شده‌اند، می‌پردازد (۸).

موزلند<sup>۳</sup> و گرنوم<sup>۴</sup> (۲۰۰۱) نیز بر روش‌های مبتنی بر بینایی در خصوص تحلیل حرکات انسان مروری داشته‌اند. در این کار تحلیل حرکت انسان از دیدگاه‌های آشکارسازی حرکات، ردگیری اعضای بدن، تخمین موقعیت اندام بدن و شناسایی نوع حرکت بررسی قرار شده است (۹).

- 
1. Gavril
  2. Model Based
  3. Moeslund
  4. Granum

وانگ<sup>۱</sup> و باسیو<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) روشی برای تخمین حرکت از روی تصاویر برگرفته از یک دوربین ارائه کردند. آنها در این مقاله به تحلیل آنتروپومتریکی بدن پرداختند که شامل تحلیل بالینی راه رفتن انسان و رباط است. آنان حرکات بدن را گروه‌بندی و نه نقطه را در حرکات انسان بررسی کردند. سر، شانه راست، آرنج راست، مچ دست راست، لگن راست، زانوی چپ و راست و مچ پای چپ و راست نقاط مورد توجه ایشان بودند. حرکات سه نقطه شانه، آرنج و مچ دست توانایی بیان حرکت بازو را دارند و به طور مشابه حرکات لگن، زانو و مچ پا می‌توانند حرکات پاها را نمایش دهند (۱۰).

محمدی و صدوقی یزدی (۱۳۸۵) در بررسی تجزیه و تحلیل راه رفتن و دویدن با ردیابی دستی (غیر ماشینی) نشانگرها، توانستند نمودار پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی را در دو سطح ساجیتال و فرونتال در سرعت‌های ۱/۵، ۳/۵، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت بر روی تردمیل<sup>۳</sup> ترسیم کنند (۱۱). وانگ، هیو<sup>۴</sup> و تان<sup>۵</sup> (۲۰۰۳) به طور اجمالی مطالعاتی را در مورد بررسی‌های اخیر بررسی حرکات انسان انجام دادند. آنان کاربرد الگوریتم‌های پیش‌گوکننده‌ای را از روشهای معمول مانند فیلتر کالمن<sup>۶</sup> جریان نوری<sup>۷</sup> و انواع حداقل مربعات<sup>۸</sup> استفاده کردند (۱۲). فیلتر کالمن فیلتر بهینه‌کننده‌ای است و در مواقعی که اطلاعات به صورت مدل تعریف می‌شود، دارای حداقل واریانس خطای برآورده شده، است و عملاً برای اشیایی استفاده می‌شود، که درون دید دوربین نیستند و ممکن است به صورت ثابت یا متغیر باشند. برای استفاده از فیلتر کالمن داشتن یک مدل، مسئله‌ای است که باید بدان توجه داشت (۱۳).

پردازش جریان نوری به ما اجازه می‌دهد که بتوانیم وضعیت بدن را از وضعیت قبلی پیش بینی کنیم. مارزانی<sup>۹</sup> (۲۰۰۱) در این مقاله سعی کرد که یک پای انسان را با این روش ردگیری کند (۱۴). لو<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۴) برای نخستین بار از فیلتر کالمن برای پیشگویی محل فرو رفتن در استخر شنا استفاده کرد. در این تحقیق وی مولفه‌های بینایی<sup>۱۱</sup> را نخستین بار با فیلتر کالمن برای ردگیری و تشخیص شناگران روی هر فریم استفاده کرد. در طی ردگیری وضعیت شناگر در هر فریم، اول با فیلترینگ پیش‌گویی شد، به طوریکه وضعیت موردنظر را به عنوان یک مکانی

---

1. Wang

2. Baciú

7. Treadmill

4. Hu

5. Tan

6. Kalman Filter

7. Optical Flow

8. Least Squares

9. Marzani

10. Lu

11. Vision Component

خاص (مکانی که تمام بدن شناگر در آن قرار گیرد) و قابل جستجو برای شناسایی شناگر مشخص کرد و بهتر دانست این مکان به شکل بیضی باشد (۱۵). کیم<sup>۱</sup> و همکارانش (۲۰۰۴) در تحقیقی نیز از فیلتر کالمن برای برآورد حرکت سر و پا به طور مستقل استفاده کردند (۱۶). همچنین روی<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) از این فیلتر برای یک مدل آماری برای کاهش نویز که در موقع ورود اطلاعات پیش می‌آید، کرد (۱۷). با توجه به مطالعات اخیر، مشاهده می‌شود هر کدام از این تحقیقات در طراحی این نوع دستگاه، محدودیت‌هایی دادند که در پژوهش حاضر سعی شده است این محدودیت‌ها را به حداقل برساند.

### روش شناسی

در این تحقیق با طراحی و ساخت نرم افزاری، حرکات اندام‌های بدن طی راه رفتن و دویدن در سرعت‌های ۱/۵، ۳/۵، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت تجزیه و تحلیل شد. این کار بر روی یک تردمیل با مارک تکنوجیم<sup>۳</sup> در دو سطح ساجیتال<sup>۴</sup> و فرونتال<sup>۵</sup> به وسیله دستگاه موشن آنالیزیس<sup>۶</sup> با شرکت میکروماک<sup>۷</sup> انجام و با سرعت ۲۵۰ فریم بر ثانیه فیلم برداری شد. این نرم افزار در محیط نرم افزاری متلب<sup>۸</sup> برنامه نویسی و برای همین منظور مفاصل حرکتی ورزشکاران به صورت یک حلقه تعریف شده است تا بتواند نویزهای ردگیری را در وضعیت‌های مختلف کاهش دهد و برای شناخت رفتار حرکتی آنها و تعقیب الگوهای حرکات این مفاصل، از الگوریتم‌های مختلفی مانند الگوریتم‌های MAP<sup>۹</sup> (حداکثر تخمین پیشگو) و RLS<sup>۱۰</sup> (اثر بازگشتی حداقل مربعات) استفاده شد. همچنین در این تحقیق ۱۲ نفر ورزشکار مرد به عنوان نمونه انتخاب و ۱۸ نشانگر در سطح ساجیتال و ۱۹ نشانگر در سطح فرونتال روی مفاصل آنان (سر، گردن، شانه، آرنج، مچ دست، انگشتان دست، لگن، ران، زانو، مچ پا، پنجه پا و انگشتان پا) نصب د که بیش از ۳۰۰ هزار فریم فیلم ویدئویی از آنان فیلم برداری و ارزیابی قرار شد. برای ساخت این نرم افزار توجه ما بر استفاده از روش‌های ردگیری بود. از این رو می‌توان گفت به طور خلاصه مطالعات گسترده‌ای در شیوه‌های مختلف ردگیری مانند ردگیری‌ها بر اساس

- 
1. Kim
  2. Roy
  3. Techno Gym
  4. Sagittal
  5. Frontal
  6. Motion Analysis
  7. Mikro Mak
  8. Matlab
  9. Maximum Adjusted Prediction
  10. Recursive Least Square

مدل، منطقه، فعالیت‌های مرئی و خصیصه‌ای بودن متحرک‌ها انجام گردید. بر این اساس ردگیری مارکرها جزء دسته‌بندی گروه ردگیری خصیصه‌ای است؛ بنابراین در ساخت این نرم افزار لازم شد فنون ردگیری خصیصه‌ای بررسی شود. این نوع ردگیری، روشی است که از پی بردن به خصیصه‌هایی همچون نقاط یا خط‌های قابل تشخیص بر روی چیزهایی استفاده می‌کند که ردگیری می‌شوند. همچنین این نوع ردگیری در زمان جفت شدگی جزئی، مفید است؛ زیرا در برخی مواقع اشیاء در ردگیری بر اثر جفت شدگی نشانگر از نظر مخفی می‌مانند. مراحل دیگر خصیصه‌ای شامل: استخراج خصیصه‌ها، تطابق خصیصه‌ها و به دست آوردن الگوریتم پیش‌بینی کننده است. ردگیری خصیصه‌ای بوسیله مختصات نقطه بعدی اجرا می‌شود که خود یکی از ابزارهای فیلتر پیش‌بینی کننده افقی است.

الگوریتم‌ها RLS و  $LMS^1$  (حداقل میانگین مربعات حساب شده) دو الگوریتم فیلتر پیش بین افقی هستند (۱۸). همچنین RLS و LMS دو الگوریتم خودکار داده‌ها نیز هستند که هم‌گرایی سریع RLS، دلیلی است برای پیشرفت الگوریتم‌هایی که در برخی از مقالات مطرح شدند (۲۱، ۲۰، ۱۹). در این میان متصل کردن فیلتر کالمن به فیلتر RLS که یک ردگیر بهینه است برای بهبود کارایی RLS، از آن جمله است (۲۲).

در ردیابی و مکان‌یابی حرکت اشیاء به کمک الگوریتم MAP که یک برآوردکننده آماری داده‌هاست، نویز موجود در پیش‌بینی کاهش داده می‌شود (۲۳). برای به حداقل رساندن اثر نویز، الگوریتم‌های برآورد کننده‌ای در محاسبه حرکت برداری پیکسل‌های تصویری پیشنهاد می‌شود (ضمیمه الف) و همچنین یک روش دنبال‌گیری مبتنی بر MAP روی سطح خاکستری تصویر اشخاص و تصویر قبلی آنها برای محاسبه حرکت برداری با حداقل نویز به کار گرفته می‌شود (۲۴).  
در هر مرحله از الگوریتم:

- حرکت برداری برای همه پیکسل‌های تصویر محاسبه می‌شود.
- گرفتن متوسط خطا برای همه نمونه‌ها انجام می‌شود؛
- حرکت برداری جدید با وزن‌های به دست آمده از الگوریتم RLS برای کاهش خطا به دست می‌آید.

در ساخت این نرم افزار شکل ردگیری به دو مرحله: فیلتر کردن و پیش‌بینی کردن تقسیم می‌شود. ما از مدل یابی<sup>۲</sup> مناسبی مانند روش احتمالی MAP که بلافاصله اطلاعات را با توجه

---

1. Least Mean Square  
2. model- driven

به پیش بینی‌های از قبل ذخیره شد، ضبط می‌کند، انتظار داریم به عنوان یک فیلتر کننده و جدید، خوب عمل کند. وقتی پیش بینی کننده‌ها همگرا می‌شوند اطلاعات پیش بینی شده جمع آوری می‌شود؛ بنابراین با انتخاب پیش بین داده‌یابی<sup>۱</sup> و فیلتر مدل یابی ترکیب جدیدی از الگوریتم ردگیری پیشنهاد می‌شود.

در این نرم افزار ترکیب مناسبی از دو الگوریتم RLS و MAP صورت گرفته است و می‌توان ثابت کرد که خطای آن از الگوریتم RLS کمتر است. این روش کاربردهای زیادی در تجزیه و تحلیل حرکات انسان در محیط‌های ورزشی دارد. از جمله این کاربردها می‌توان از راه حل‌های بهینه در اجرای عنوان ورزشکاران در میدان‌های ورزشی نام برد. به طور نمونه برای اندازه‌گیری مبتنی بر بینایی<sup>۲</sup>، می‌توان از انواع کارکردهای دستگاه بینایی ماشینی استفاده کرد.

شبیه سازی حرکات انسان، در شبیه سازیها موضوع جالبی است و ارزش آن در تمرینات ورزشی مصداق پیدا می‌کند. با روشی که بر اساس فناوری بینایی ماشینی ارائه شده است می‌توان به یک ساختاری از حرکات در انسان دست یافت که برای اجرای مهارت‌های ورزشی ورزشکاران بسیار مفید است. البته ساختارهای مشاهده شده در انسان به طور پیشرونده‌ای برای تئوری ساخت رباطها کاربرد بسیار دارد. این مشاهدات می‌توانند نیرو و اندازه حرکت مفاصل رباطها را برآورد کنند (۲۵-۲۷). ساختار تصاویر سعی دارند الگوریتم‌هایی را برای کاهش نویز در دستگاه ردگیری تهیه کنند. همچنین در این نرم افزار یک الگوریتم مناسبی برای ردگیری تهیه شده است که می‌تواند برای تجزیه و تحلیل حرکات انسان (راه رفتن و دویدن) کاربرد داشته باشد. الگوریتم‌های ردگیری ابزار معنی داری در بینایی ماشینی محسوب می‌شوند. (ضمیمه الف)

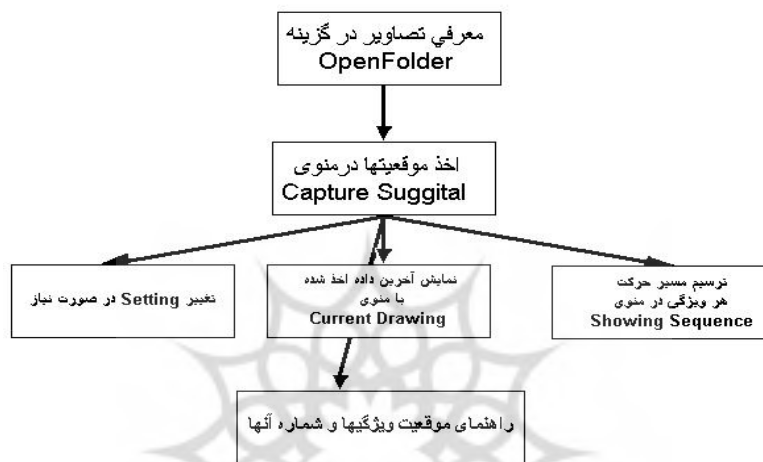
روش‌های متنوعی برای ردگیری در محیط‌های آزاد وجود دارد. تعداد روش‌های ردگیری که بدون کنترل ارائه شده‌اند بسیارند و ولی از این همه فقط می‌توان چند نوع استاندارد شده را نام برد که شامل الگوریتم‌های ردگیری بر اساس خصیصه‌ها، مناطق و مدل‌های ردگیری شونده هستند. (۲۸-۳۳)

### نتایج پژوهش

نتایج به دست آمده در طراحی این نرم افزار نشان می‌دهد این نرم افزار توانایی‌های زیادی دارد که از جمله می‌توان به نمونه‌هایی از آن در حیطه بیومکانیک ورزشی اشاره کرد:

1. Data- driven
2. Vision- based

- گرفتن موقعیت فریم اولیه با استفاده از رابط گرافیکی کاربر مناسب<sup>۱</sup> GUI. در این حالت ابتدا فیلم های به دست آمده از دوربین ها را به صورت فریم های تصاویری با پسوند Bmp<sup>۲</sup> تبدیل کرده و برای یک بار اطلاعات اولیه به نرم افزار داده می شود و نرم افزار طبق ساختار تعیین شده، نخستین فریم را به دستگاه معرفی می کند. (شکل ۱)



شکل ۱. ساختار استفاده از نرم افزار تحلیل حرکت

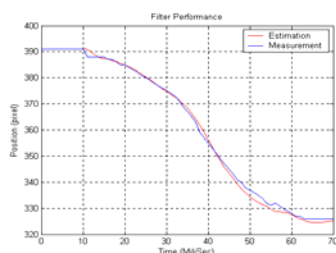
- مطابقت دادن یک فضای  $7 \times 7$  پیکسلی در فریم های متوالی با استفاده از روش همبستگی و تعیین بهترین فضای  $7 \times 7$ . با این روش اگر نرم افزار نقطه یا پیکسل مربوط را به هر علتی از دست بدهد، آن پیکسل را در یک فضای  $7 \times 7$  پیکسلی در فریم های متوالی با روش ذکر شده می تواند جستجو کند و آن را بیابد؛
- بعد از هم گرایی برای هر نشانگر، به کارگیری از پیش گوکننده ها<sup>۳</sup> و نرم کننده ها<sup>۴</sup> برای پیش گویی موقعیت و نرم کردن مسیر منحنی و همچنین برای یافتن اطلاعاتی درباره سرعت و شتاب نشانگرها، استفاده می شود. (ضمیمه الف-۱)
- تهیه راهنمای نرم افزار برای استفاده کاربرهایی که بتوانند با ردگیری نشانگرها اطلاعات مربوط به تجزیه و تحلیل حرکت انسان (راه رفتن و دویدن) را به دست آورند. این راهنما به

1. Graphic User Interface
2. Bitmap Image
3. Predictor
4. Smoother

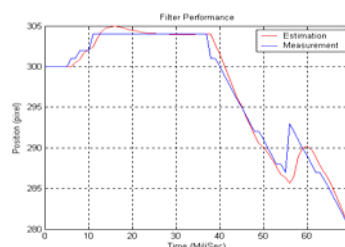


صورت فارسی نوشته شده است و قابلیت دارد که هر کاربری به راحتی و بدون تخصصی خاص با این نرم افزار کار کند.

ضمیمه الف



(ب)



(الف)

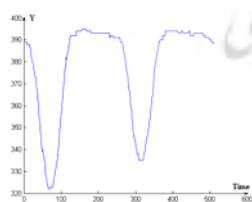
۱. نرم کردن الف) موقعیت مولفه X (ب) موقعیت مولفه Y با استفاده از الگوریتم پیشنهادی.

برای وضوح بهتر موقعیت ۱۸ تقسیم می شود ، ابتدا تصاویر به صورت نگاتیو تبدیل می شود. (شکل ۲- الف) به عنوان نمونه نتایج ردگیری نشانگر شماره ۱۳ (مچ پای چپ) در تصویر نگاتیو شده (شکل ۲- ب) و حرکت آن در صفحه (X,Y) (شکل ۲- ج و ۲- د) با ردگیری ۷۱ فریم متوالی، ارائه شده است. سپس نمودارهای ارتعاشی را هموار کرده که روش هموار کردن ارتعاشات خود اهمیت به سزایی در یافتن موقعیت مارکرها دارد.

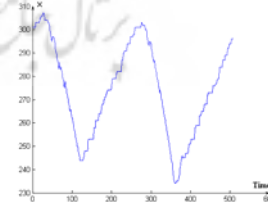


(ب)

(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲. الف) هجده نشانگر در تصویر نگاتیو شده (ب) ردگیری موقعیت نشانگر شماره ۱۳ (مچ پای چپ) در تصویر نگاتیو. ج) موقعیت مکانی بردار افقی (X) (ب) موقعیت مکانی بردار عمودی (Y)، در ۷۱ فریم متوالی.

اطلاعاتی که به این نرم افزار داده شده است دارای خصوصیات زیر است:

- ۱۲ مرد ورزشکار که راه رفتن و دویدن را بر روی تردمیل با اندازه‌های آنتروپومتریکی انجام داده‌اند (جدول ۱).

پارامترهای آنتروپومتریکی	میانگین	انحراف استاندارد
قد (متر)	۱٫۷	۰٫۰۳۶
وزن (کیلوگرم)	۶۶٫۹۰	۸٫۱۲۲
سن (سال)	۲۶٫۸۰	۳٫۵۷۶
سر (سانتیمتر)	۲۴٫۳۹	۲٫۷۲۹
بازو (سانتیمتر)	۳۰٫۰۱	۱٫۳۱۵
ساعده (سانتیمتر)	۲۶٫۵۵	۰٫۸۴۸
کف دست (سانتیمتر)	۷٫۷۹	۰٫۶۴۷
تنه (سانتیمتر)	۴۰٫۴۴	۲٫۴۳۷
لگن (سانتیمتر)	۱۰٫۱۰	۲٫۴۳۲
ران (سانتیمتر)	۴۲٫۵۹	۲٫۶۰۰
ساق یا (سانتیمتر)	۴۱٫۶۷	۱٫۵۲۶
کف پا (سانتیمتر)	۱۲٫۱۶	۰٫۵۴۰
پنجه پا (سانتیمتر)	۸٫۱۸	۱٫۲۶۴

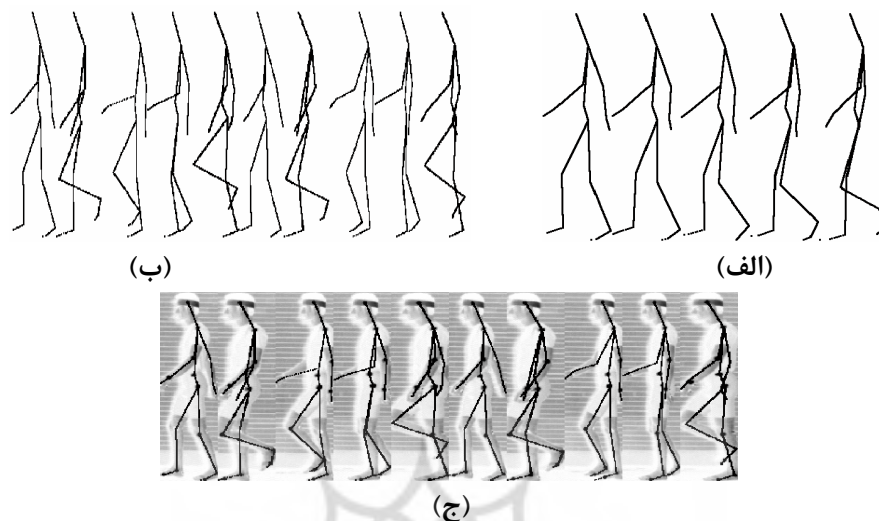
جدول ۱: پارامترهای آنتروپومتریکی در ۱۲ نفر ورزشکار

- دوربین‌هایی که با سرعت ۲۵۰ فریم در ثانیه تصاویر سیاه و سفید در دو سطح ساجیتال و فرونتال را تصویربرداری کرده‌اند. (شکل ۳)



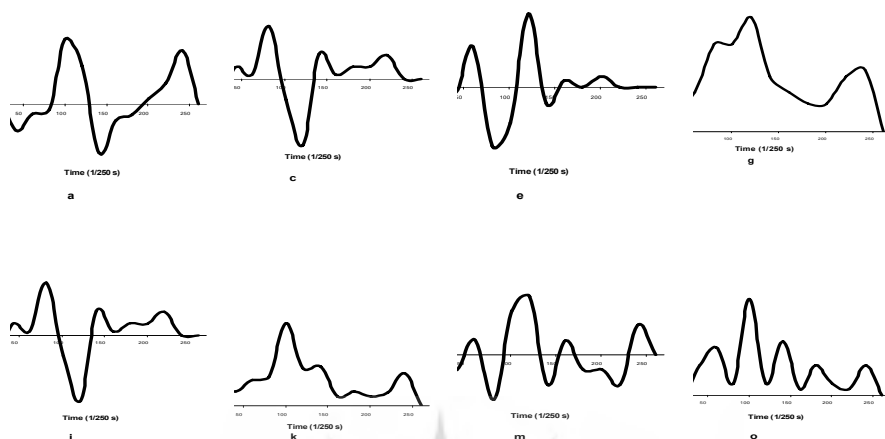
شکل ۳: تصویربرداری سیاه و سفید در دو سطح ساجیتال (راست) و فرونتال (چپ).

- هرکدام از ورزشکاران با سرعت‌های مختلف راه رفته و دیده‌اند.
- تولید فیلم حرکت اسکلتی (شکل ۴- الف و ۴- ب) و ترکیب حرکت فیلم نگاتیو شده و اسکلتی (شکل ۴- ج) یکی دیگر از نتایج طراحی این نرم افزار است.

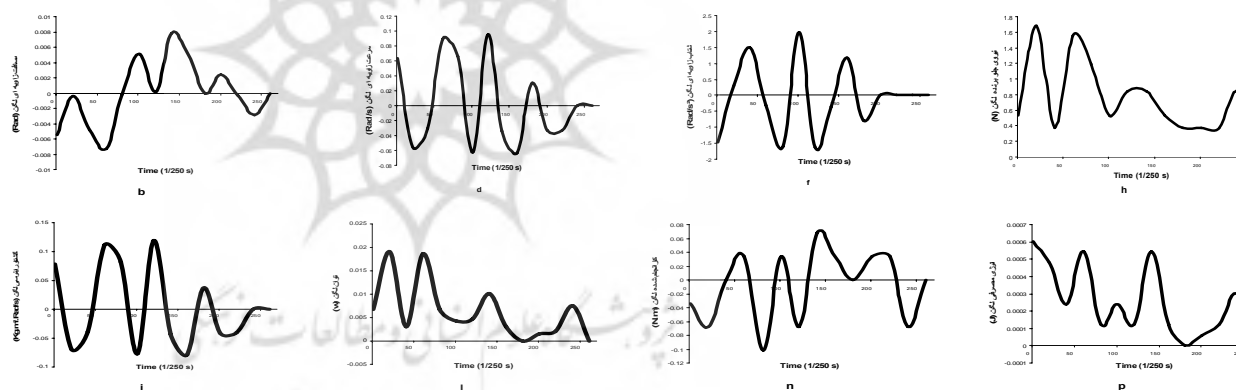


شکل ۴. تولید فیلم حرکتی الف) شماتیک (اسکلت) حرکت ۵ فریم از ۵۰ فریم. ب) شماتیک (اسکلت) حرکت ۱۰ فریم از ۵۰۰ فریم. ج) ترکیب شماتیک (اسکلت) حرکت با تصاویر نگاتیوی ۱۰ فریم از ۵۰۰ فریم ردگیری شده.

- قابلیت اندازه‌گیری پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی مفاصل بدن در راه رفتن و دویدن در سرعت‌های مختلف.
- بعد از ردگیری مارکرها، همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، پارامترهای بیومکانیکی را که از موقعیت‌ها و اندازه‌های آنتروپومتریکی جدول (۱) استخراج شده است، می‌توان به دست آورد. پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی شامل مسافت زاویه‌ای، سرعت زاویه‌ای، شتاب زاویه‌ای، نیرو، گشتاور، توان، کار انجام شده و انرژی مصرفی است و این پارامترهای بیومکانیکی در سرعت‌های ۱/۵، ۳/۵، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ کیلومتر بر ساعت برای مفاصل بدن مانند سر، شانه، آرنج، مچ دست، انگشتان دست، لگن، ران، زانو، مچ پا، پنجه و انگشتان پا قابل محاسبه هستند که در اینجا به طور نمونه پارامترهای بیومکانیکی حرکت مفصل لگن در راه رفتن با سرعت ۱/۵ کیلومتر بر ساعت در شکل ۵ در دو سطح ساجیتال و فرونتال مشاهده می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۵. پارامترهای سینماتیکی و سینتیکی مفصل لگن در دو سیکل راه رفتن با سرعت ۱/۵ کیلومتر بر ساعت در دو سطح الف) ساجیتال و ب) فرونتال.

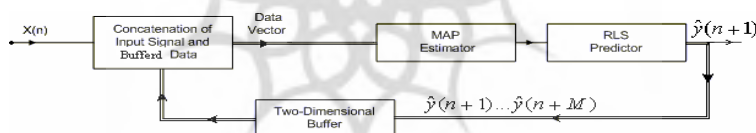
### بحث و نتیجه گیری

در پژوهش حاضر همچون وانگ و باسیو (۹) از روش تخمین حرکت با نشانگر استفاده شده است، با این تفاوت که در پژوهش حاضر از ۱۸ نقطه بدن در مقابل ۹ نقطه آنان استفاده شده است، بنابراین با ردگیری هر مجموعه از نقاط با کمک نشانگرهایی که روی نقاط مورد توجه

نصب می‌شوند، گروه خاصی ردگیری می‌شوند. قابل توجه است که در هر تصویر گرفته شده فقط یک گروه خاص نشانه‌گذاری و ردگیری آن گروه انجام می‌شود. به عبارت دیگر در این مقاله برای حل مشکل تداخل نشانگرها هر بار فقط گروهی از آنها را بررسی می‌کنند که مشکل تداخل و محو شدن ندارند. همچنین در این تحقیق زمینه ساده انتخاب شده است، که دارای رنگ کاملاً متفاوتی با رنگ مارکرها است. البته در مقایسه با پژوهش حاضر ردگیری نشانگرها در شرایط معمولی‌تری انجام شده است (۱۰).

در این تحقیق مانند برخی از پژوهشگران از فیلتر کالمن و جریانات نوری برای پیشگویی مکان ردیابی استفاده شده است. (۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۶) در مجموع نرم افزار ساخت شده، حاضر، دارای نوآوری‌هایی است که می‌توان آن را از جهاتی از تحقیقات قبلی متمایز دانست در زیر به نکات مهمی در این باره اشاره شده است:

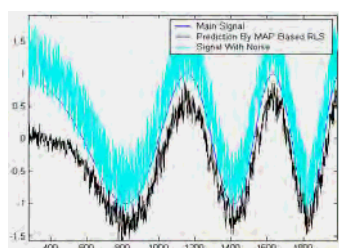
- حالت جفت شدگی یا نزدیک شدن نشانگرها به یکدیگر، که باعث می‌شود نشانگر از دید نرم افزار در زمانهای مختلف گم شود، در این نرم‌افزار مرتفع شده است؛ این مشکل را توانسته‌ایم با استفاده از الگوریتم‌های پیشنهادی چند فریم قبل و بعد از موقعیت نشانگر حل کنیم و ردگیری را ادامه دهیم. (ضمیمه الف - ۲)



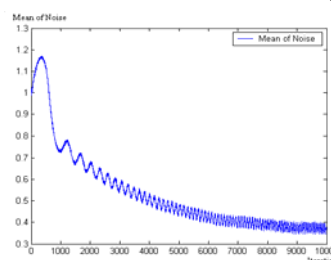
(۲). الگوریتم پیشنهادی در این نرم‌افزار

- الگوریتم‌های پیشنهادی به پیش‌گویی نشانگرهایی که کمک می‌کنند، از نظر دوربین در بین ۵ تا ۲۰ فریم از نقاط مسیر منحنی برگشت کرده و مفقود شده‌اند.
- بازتابش نور از نشانگرها عاملی برای گم شدن آنها در ردگیری به حساب می‌آید که در این پژوهشی با استفاده از نشانگرهایی با رنگهای مختلف و با وجود ۱۸ نشانگر در یک تصویر بر مشکل فائق آمد. به طور مثال تفاوت رنگ پیراهن ورزشکاران و نشانگرها این تجربه را تأیید می‌کند؛ (شکل ۳)
- مشکلات مذکور انواع مختلفی از نویزها هستند که هر کدام را در ردگیری نشانگرها مشاهده می‌شوند و این باعث شد، است برای کاهش نویز از فیلترهای انطباق پذیر استفاده شود.

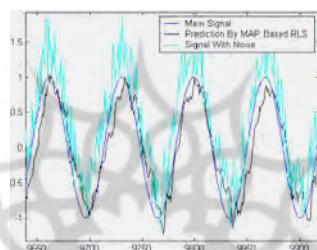
این مشکلات سبب می‌شود ردگیری نشانگرها به یک مشکل ردگیری بیرونی تبدیل شود؛  
(ضمیمه ب- ۳)



(ب)



(الف)



(ج)

(۳). الف) میانگین نویز ب) پیشگویی سیگنال اصلی از نویزهای ارتعاشی در تکرارهای اولیه ج)  
پیشگویی سیگنال اصلی از نویزهای ارتعاشی بعد از همگرایی و پیدا کردن میانگین نویزها بوسیله  
الگوریتم پیشنهادی.

- برای اطمینان از نتایج صحیح این نرم افزار داده‌های جمع آوری شده را با اطلاعاتی مقایسه کردیم که قبلاً با روش دستی (غیر ماشینی) جمع آوری شده بودند و بدین نحو توانستیم روایی قابل اطمینانی برای این نرم افزار به دست آوریم. (۳۳)
- مجموعه‌ای از اطلاعات که به صورت دستی جمع آوری شده بود با فرمول‌های هموار کردن مقایسه و محاسبه شدند و بدین طریق از پایایی این نرم افزار اطمینان حاصل شد (۳۵-۳۳). از آنجایی که روایی و پایایی این نرم افزار بسیار مهم است؛ لذا ابتدا داده‌های به دست آمده از این نرم افزار را با داده‌های به دست آمده به روش دستی مقایسه کردیم؛ داده‌های به دست آمده با روش دستی به این صورت بود که ابتدا فیلم برداری از راه رفتن و دویدن افراد در سرعت‌های مختلف با سرعت فیلم برداری ۲۵۰ هرتز (فریم بر ثانیه) انجام شد و تقریباً به ۳۰ هزا فریم (تصویر) تبدیل شد و با استفاده از نرم افزار پینت<sup>۱</sup> مختصات دو بعدی<sup>۱</sup> تک تک این

نشانگرها (در فریم‌های سطح ساجیتال ۱۸ و در فریم‌های سطح فرونتال ۱۹ نشانگر) را مشخص و سپس این داده‌ها را در نرم افزار اکسل<sup>۲</sup> وارد کردیم. از طرفی این پژوهش در بخش بیومکانیک مرکز سنجش و قابلیت‌های جسمانی آکادمی ملی المپیک انجام شده و از دستگاه موشن آنالیزیس با شرکت میکروماک آنجا استفاده شده است که از این دستگاه در بسیاری از تحقیقات به عنوان دستگاهی دقیق و معتبر استفاده می‌شود لذا با استفاده از نرم افزار وین آنالیز این دستگاه نیز این داده‌ها دوباره بازخوانی شده است و همخوانی داده‌های خروجی این سه روش نشان دهنده آن بود که نرم افزار ساخت شده از روایی و پایایی مناسبی برخوردار است. همچنین در این نرم افزار از فیلترکالمن، جریان نوری و انواع حداقل مربعات استفاده شده است، که در بسیاری از پژوهش‌ها در زمینه علوم پردازش تصویر از آنها به عنوان الگوریتم معتبر یاد می‌شود.

به طور کلی از این پژوهش نتیجه می‌گیریم که نرم افزار تولیدی، توانایی‌های خاصی دارد که در زیر به خلاصه‌ای از آنها اشاره می‌شود:

- أ) خصوصیات بیومکانیکی با استفاده از دستگاه ردگیری را می‌تواند استخراج کند؛  
 ب) الگوریتم‌های جدید ردگیری، به حذف نویز و مشکلات جفت شدن نشانگرها کمک می‌کند؛  
 ج) همگرایی و رفتار ردگیری روشی است که در این تحقیق پیشنهاد شده است؛  
 د) الگوریتم‌های پیشنهادی در ردگیری حرکات بدن و کاربردهای بیومکانیکی آن اجرای بهتری دارند.  
 در خاتمه پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، برای ردگیری بهتر در انتخاب نشانگرها از رنگ‌های مختلف استفاده شود.

#### منابع:

1. Jain. A.K, Ross. A, Prabhakar. S, (2004), An Introduction to Biometric Recognition, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 14, (1), 4-20.
2. Wang. L, Ning. H, Tan. T, Hu. W, (2004), Fusion of Static and Dynamic Body Biometrics for Gait Recognition, IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology, vol. 14, (2), 149-158.
3. Kobayashi. Y, Takashima. T, Hayashi. M, Fujimoto. H, (2005), Gait Analysis of People Walking on Tactile Ground Surface Indicators, IEEE Trans. On Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 13, (1), 53-59.

1. (X, Y)

2. Excel

4. Steffens. J, Elagin. E, Neven. H, (1998), Person Spotter-fast and Robust system for human detection, tracking and recognition, Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 516-521.
5. Moghaddam. B, Wahid. W, Pentland. A, (1998), Beyond eigenfaces: probabilistic matching for face recognition, Proceedings of the IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 30-35.
6. Jang. D.S, Choi. H.I, (2000), Active models for tracking moving objects, J. Pattern Recognition 33 (7) 1135-1146.
7. Wachter. S, Nagel. H.H, (1999), Tracking persons in monocular image sequences, J. Comput. Vision Image Understanding 74 (3) 174-192.
8. Gavrilu. D.M, (1999), The Visual Analysis of Human Movement: A Survey, Computer Vision and Image Understanding, vol. 73, (1), 82-98.
9. Moeslund. T.B, Granum. E, (2001), A Survey of Computer Vision-Based Human Motion Capture, Computer Vision and Image Understanding, vol. 81, (3), 231-268.
10. Wang. Y, Baci. G, (2003), Human Motion Estimation from Monocular Image Sequence Based on Cross-Entropy Regularization, Pattern Recognition Letters, vol. 24, (2), 315-325.
۱۱. محمدی، م. و صدوقی یزدی، ه. ۱۳۸۵، تجزیه و تحلیل بیومکانیکی راه رفتن و دویدن در سرعت‌های مختلف و ارتباط آن با اندازه های آنتروپومتریکی. گزارش پژوهشی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار.
12. Wang. L, Hu. W, Tan. T, (2003), Recent Developments in Human Motion Analysis, Pattern Recognition, vol. 36, 585-601.
13. Zhao. L, Thorpe. C, (1998), Qualitative and Quantitative Car Tracking from a Range Image Sequence, Proc. CVPR, 496-501.
14. Marzani. F, Calais. E, Legrand. L, (2001), A 3-D Marker-Free System for the analysis of Movement Disabilities-An Application to the Legs, IEEE Trans. On Information Technology in Biomedicine, Vol. 5, (1), 356-365.
15. Lu. W, Tan. Y.P, (2004), A Vision-Based Approach to Early Detection of Drowning Incidents in Swimming Pools, IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 14, (2), 159-178.
16. Kim. S.E, Park. C.J, Lee. I.H, (2004), A Tracking Method of End-Effectors in a Vision-Based Marker-Free Motion Capture System, Proceedings of the IEEE conf. on Cybernetics and Intelligent Systems, 129-134.
17. Roy-Chowdhury. A.K, (2005), A measure of deformability of shapes, with applications to human motion analysis, IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, 398-404.
18. Haykin. S, (1996), Adaptive Filter Theory, 3rd-ed, Printice Hall, 356-360.
19. Vaseghi. S, (1996), Advanced Signal Processing and Digital Noise Reduction, J. Comput. Vision Image Understanding 60 (1) 102-115.
20. Sadoghi Yazdi. H, Lotfizad. M, Fathy. M, (2006), Car Tracking by Quantized Input LMS, QX-LMS algorithm in Traffic Scenes, IEE Signal Processing, 276-288.
21. Sadoghi Yazdi. H, Lotfizad. M, Kabir. E, Fathy. M, (2005), Clipped Input RLS Applied to vehicle Tracking, Eurasip Journal on Applied Signal Processing, vol. 8, 1221-1228.



22. Haykin. S, Sayed. A.H, Zeidler. J, Yee. P, Wei. P, (1995), Tracking of linear Time-Variant Systems, Proc. MILCOM, 602-606.
23. Lee. J.W, Kweon. I, (1998), MAP-Based Probabilistic Reasoning to Vehicle Segmentation, Pattern Recognition, Vol. 31, (12), 2017-2026.
24. Sim. D.G, Park. R.H, (1998), Robust Reweighted MAP Motion Estimation, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 20, (4), 75-86.
25. Xian-Jie. Q, Zhao-Qi. W, Shi-Hong X, Yong-Dong. W, (2004), A Virtual-Real Comparison Technique Used on Sport Simulation and Analysis, IEEE, 443-449.
26. Molina-Tanco. L, Bandera. J.P, Marfil. R, Sandoval. F, (2005), Real-time Human Motion Analysis for Human-Robot Interaction, IEEE/RSJ International Conf. on Intelligent Robots and Systems, 1808-1813.
27. Dariush. B, Hemami. H, Parnianpour. M, (2000), Analysis and Synthesis of Human Motion From External Measurements, IEEE Int. Conf. on Robotics & Automation, 4015-4020.
28. Badenas J, Sanchiz. J, Pla. F, (2001), Motion-based segmentation and region tracking in image sequences, J. Pattern Recognition 34 661-670.
29. Coifman. B, Beymer. D, McLaunhlan. P, Malik. J, (1998), A Real-Time Computer System for Vehicle Tracking and Traffic Surveillance, Transportation Research Part C6, 271-288.
30. Haag. M, Nagel. H.H, (1998), Tracking of Complex Driving Maneuvers in Traffic Image Sequences, Image and Computing, vol. 16, 517-527.
31. Chetverikov. D, Verestoy. J, (1999), Feature Point Tracking for Incomplete Trajectories, Digital Image Processing, Vol. 62, 321-338.
32. Karmann. K, Brandt. A, (1990), Moving Object Recognition Using an Adaptive Background Memory, Time-varying Image Processing and Moving Object Recognition, vol. 2, 297-307.
33. Mohammadi M. R, Sadoghi Yazdi. H, (2007), Digitizing, Modeling and Body Segment Parameter Calculation by New Vision-Based Approach, Proceedings 24th Universiade Bangkok (FISU Conference), 624-624.
34. Peterfreund. N, (2000), Robust tracking of position and velocity with Kalman snakes, IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 22 (6) 564-569.
35. Ho. K.C, (1996), A Minimum Misadjustment Adaptive FIR Filter, IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 44, (3), 67-79.