بسم الله الرحمن الرحيم

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

تخمین حالت سر برای کمک به تشخیص نارسایی‌های چشمی

نویسنده: محسن اصغری امرئی

استاد راهنما: دکتر حمیدرضا پوررضا

استاد مشاور: دکتر محمد اعتضاد رضوی

بهمن ۹۱

تعهدنامه

اینجانب **محسن اصغری**دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان‌نامه تخمین حالت سر برای کمک به تشخیص نارسایی‌های چشمی تحت راهنمایی دکتر حمیدرضا پوررضا متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود و یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه فردوسی مشهد" و یا "Ferdowsi University of Mashhad" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تاثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

محسن اصغری امرئی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

مسأله‌ی اندازه‌گیری زوایای سر در بینایی ماشین به کرات مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق این مسأله به طور خاص برای کمک به تشخیص بیمارانی مورد بررسی قرار گرفته است که به دلیل مشکل چشم در بینایی، سر خود را از حالت طبیعی و بدون انحراف خارج می‌کنند تا وضعیت بینایی خود را بهبود بخشند. اما به مرور زمان سر آن‌ها این حالت غیرطبیعی را حفظ می‌کند و نسبت به حالت طبیعی زاویه پیدا می‌کند. امروزه برای اندازه‌گیری زاویه‌ی سر این بیماران نسبت به حالت طبیعی از ابزار مکانیکی هندسی مانند گونیومتر استفاده می‌شود. در این‌جا از یک دوربین کینِکت برای تصویربرداری از بیماران استفاده می‌شود و زوایای سر بیمار با استفاده از تصویر به دست آمده محاسبه می‌شود. مزیت این دوربین نسبت به دوربین‌های معمولی این است که عمق پیکسل‌های تصویر را نیز در اختیار ما قرار می‌دهد و استفاده از این مقادیر عمق موجب افزایش در دقت اندازه‌گیری زوایا می‌شود. از آن‌جایی که بسیاری از بیماران را خردسالان تشکیل می‌دهند، ممکن است به همراه والدین خود در محل تصویربرداری حاضر شوند و بنابراین یکی از شرایط مسأله حضور بیش از یک فرد در تصویر اخذ شده است. برای محاسبه‌ی زوایای سر، از تصویر RGB و مقادیر عمق بر حسب نیاز استفاده می‌شود. ابتدا با استفاده از تصاویر RGB، صورت افراد حاضر در تصویر از بقیه‌ی عکس جدا می‌شوند؛ سپس با استفاده از مقادیر عمق و این فرض که فرد بیمار نزدیک‌ترین فرد به تصویر است، صورت فرد بیمار از بقیه‌ی افراد تمیز داده می‌شود و ادامه‌ی الگوریتم بر روی این قسمت از تصویر اجرا می‌شود. در ادامه ابتدا چشم‌های فرد در تصویر پیدا می‌شوند و با استفاده از مکان آن‌ها زاویه‌ی roll محاسبه می‌شود. سپس نقاطی که منتسب به پیشانی هستند استخراج می‌شوند و با استفاده از مقادیر عمق متناظر با این نقاط، نزدیک‌ترین صفحه‌ای که منطبق بر این نقاط باشد محاسبه می‌شود. و در نهایت با در دست داشتن

بردار نرمال صفحه‌ی پیشانی، زوایای yaw و pitch سر محاسبه می‌شوند. الگوریتم ارائه شده در نرم‌افزار مطلب پیاده‌سازی شده است و برای بررسی صحت عملکرد، از پایگاه داده‌های تهیه شده در دانشگاه ETH سوئیس استفاده شده است. دلیل این مسأله، منطبق بودن شرایط این پایگاه داده‌ها با شرایط مسأله‌ی مورد بررسی بوده است. نتایج به دست آمده با روش پیاده‌سازی شده در [Fan 2011b] مقایسه شده است که نتایج به‌دست‌آمده، هم از لحاظ میانگین خطای مطلق و هم از نظر انحراف از معیار خطا، بهبود داشته‌اند. همچنین یک پایگاه داده محلی از تصاویر ۸ بیمار که دچار مشکل مورد نظر بوده‌اند تهیه شد و الگوریتم پیشنهادی بر روی تصاویر این بیماران اجرا گردید که نتایج آن ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: اندازه‌گیری حالت سر، roll، yaw، pitch، Kinect، تصاویر RGBD.

.

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱۱

۱-۱- پیشگفتار ۱۲

۱-۲- تعریف مسأله ۱۵

۱-۳- Kinect ۱۶

۱-۴- اهداف انجام پایان‌نامه ۱۸

۱-۵- نوآوری‌های پایان‌نامه ۱۸

۱-۶- ساختار پایان‌نامه ۲۰

۲- مروری بر کارهای گذشته ۲۱

۲-۱- پیشگفتار ۲۲

۲-۲- روش‌هایی که از تصاویر دارای عمق استفاده می‌کنند ۲۳

۲-۲-۱- رویکردهای مبتنی بر ویژگی‌ها ۲۴

۲-۲-۲- رویکردهای بدون ویژگی ۲۵

۲-۳- روش‌هایی که از تصاویر معمولی استفاده می‌کنند ۲۶

۲-۳-۱- روشهای قالب چهره ۲۷

۲-۳-۲- آرایه‌های تشخیص دهنده ۳۷

۲-۳-۳- روشهای رگرسیون غیرخطی ۴۰

۲-۳-۴- روش‌های تعبیه متعدد (چند تکه) ۴۳

۲-۳-۵- مدل‌های منعطف ۴۷

۲-۳-۶- روش‌های هندسی ۵۰

۲-۳-۷- روش‌های ردیابی ۵۳
۲-۳-۸- مدل‌های ترکیبی ۵۶

۲-۴- خلاصه فصل ۵۸

۳- سیستم پیشنهادی ۵۹

۳-۱- پیشگفتار ۶۰

۳-۲- الگوریتم viola-jones ۶۰
۳-۲-۱- تصویر تجمعی: ۶۲
۳-۲-۲- یادگیری توابع دسته بندی ۶۳

۳-۳- شرایط تصویربرداری ۶۵

۳-۴- الگوریتم پیشنهادی ۶۶
۳-۴-۱- پیدا کردن صورت افراد حاضر در تصویر ۶۶
۳-۴-۲- تصحیح مقادیر عمق ۶۷
۳-۴-۳- جدا کردن چهره‌ی فرد بیمار ۶۸
۳-۴-۴- یافتن نقاط مورد نیاز در صورت ۶۹
۳-۴-۵- اندازه‌گیری زاویه roll ۷۰
۳-۴-۶- اندازه‌گیری زوایای yaw و pitch ۷۱
۳-۴-۷- تشخیص مشکل احتمالی بیمار ۷۴

۳-۵- خلاصه فصل ۷۷

۴- ارزیابی سیستم ۷۸

۴-۱- پیشگفتار ۷۹

۴-۲- OPENNI: ۸۰

۴-۳- توضیح پایگاه داده‌ها ۸۰

۴-۴- پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی ۸۱

۴-۵- معیارهای مقایسه ۸۲

۴-۶- نتایج به‌دست آمده ۸۳

۴-۷- مقایسه نتایج ۸۳

۴-۸- خلاصه فصل ۸۵

۵- نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات ۸۶

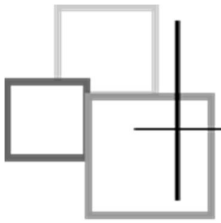
۶- مراجع ۸۹

فهرست جداول

جدول ۳-۱- مشکلات احتمالی بیمار با توجه به انحرافات سر از حالت طبیعی.....۷۴
جدول ۴-۱- خلاصه ی نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم پیشنهادی.....۸۳
جدول ۴-۲- مقایسه‌ی نتایج اجرای الگوریتم پیشنهادی با نتایج الگوریتم مقاله‌ی مرجع.....۸۴

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- حالت‌های مختلف انحراف سر [Hal 2009]. ۱۲
شکل ۱-۲- انحراف در چشم‌های بیمار. ۱۳
شکل ۱-۳- گونیومتر. ۱۴
شکل ۱-۴- دوربین تصویربرداری Kinect[Cru 2012]. ۱۷
شکل ۲-۱- شمای کلی ازروش‌های قالب چهره [Mur 2009]. ۲۸
شکل ۲-۲- حالات درنظرگرفته‌شده برای سر در [Bey 1994]. ۲۹
شکل ۲-۳ - چندنمونه ازاجرای الگوریتم استخراج ویژگی در [Bey 1994]. ۳۱
شکل ۲-۴- کوانتیزه‌کردن بردار با ساختار درختی (TSVQ) [Niy 1996]. ۳۴
شکل ۲-۵- آرایه‌های تشخیص‌دهنده شامل مجموعه‌ای از تشخیص‌دهنده‌ها [Mur 2009]. ۳۸
شکل ۲-۶- رگرسیون غیرخطی یک نگاشت تابعی از تصویر یا داده ویژگی به یک اندازه حالت سر فراهم می‌کند. ۴۰
شکل ۲-۷- روش‌های منعطف به ساختار صورت هر شخص در نقشه تصویر منطبق می‌شوند. ۴۷
شکل ۲-۸- روش‌های هندسی برای پیداکردن ویژگی‌های محلی تلاش می‌کنند (همانندچشم‌ها،دهان و نوک بینی). ۵۱
شکل ۳-۱- ویژگی‌ها درالگوریتم viola-jones. ۶۱
شکل ۳-۲- تصویر تجمعی در الگوریتم viola-jones. ۶۲
شکل ۳-۳- آموزش دسته‌بندهای روش viola-jones. ۶۵
شکل ۳-۴- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی. ۶۶
شکل ۳-۵- اندازه‌گیری زاویه‌ی Roll. ۷۰
شکل ۳-۶- بردار نرمال صفحه‌ی پیشانی برای محاسبه‌ی زوایای yaw و pitch. ۷۱



۱- مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

حالات غیر طبیعی سر به دلایل مختلفی ممکن است در انسان‌ها بروز کنند. وضعیت سر یک نشانه‌ی مهم در عصب‌شناسی است و بسیاری از نارسایی‌ها ممکن است آن را تحت تاثیر قرار دهند [Hal 2009]. همان‌طور که در شکل ۱-۱ ملاحظه می‌شود، این انحراف از حالت طبیعی می‌تواند در سه درجه آزادی اتفاق بیافتد. چرخش صورت به سمت چپ یا راست، خم شدن سر به سمت شانه‌ها و بالا یا پایین بودن چانه‌ی فرد.

شکل ۱-۱- حالت‌های مختلف انحراف سر [Hal 2009].

در هر یک از این حالات، سر از وضعیت عادی خود خارج شده است. یک فرد بیمار ممکن است هر یک از این مشکلات را تا اندازه‌ای دارا باشد[She 2001]. کج بودن گردن در دوران کودکی اگر به دلایل

چشمی نباشد، اغلب به دلیل اختلال در سیستم عصبی مرکزی، ساختار عضلانی گردن و یا سیستم اسکلتی بدن است. نارسایی‌های سیستم عصبی مرکزی، ممکن است مربوط به سیستم تعادل و یا شنوایی فرد بیمار باشد. مانند حالتی که فرد از یک سمت دارای مشکل شنوایی است و صورتش به سمتی که مشکل شنوایی دارد چرخیده است [Row 1998].

اگر چه دلایل مختلفی می‌توانند سبب خارج شدن سر از حالت طبیعی شوند، اما وجود مشکلاتی در سیستم بینایی، رایج‌ترین دلیل این مسأله در دوران کودکی است. دلایل چشمی زیادی وجود دارند که موجب پدید آمدن کجی سر، چرخش سر و بالا یا پایین رفتن چانه می‌شوند. به عنوان مثال بعضی از انواع استرابیسم مانند انحراف‌های فلجی، اغلب همراه با انحراف‌های غیرطبیعی سر و صورت همراه هستند. هنگامی که فرد دچار انحراف در چشم‌ها می‌شود (مانند آن‌چه در شکل ۱-۲ ملاحظه می‌گردد)، دید دوچشمی خود را از دست می‌دهد و در مواقعی هم که این پدیده به صورت حاد ایجاد می‌شود، بیمار دوچار دوبینی نیز می‌گردد. اکثر بیماران برای به‌دست آوردن دید واحد دوچشمی، به طور ناخودآگاه، حالت‌های مختلف سر و صورت به خود می‌گیرند. فلج شدن زوج چهار یا عضله مایل فوقانی یک علت شایع در افرادی است که همراه با استرابیسم، حالت غیرطبیعی سر نیز دارند.[شکو ۱۳۷۴]

شکل ۱-۲- انحراف در چشم‌های بیمار.

در اصطلاح پزشکی به چرخش صورت به سمت چپ یا راست face turn گفته می‌شود که در این پایان‌نامه از واژه yaw برای آن استفاده می‌شود. به نزدیک شدن سر به شانه‌ها tilt گفته می‌شود که در اینجا از واژه‌ی roll برای آن استفاده می‌کنیم و از واژه‌ی pitch به جای chin up/down که در پزشکی به بالا یا پایین بودن چانه اطلاق می‌شود، استفاده می‌کنیم. دلیل استفاده از این واژه‌ها رواج آن‌ها در میان نویسندگان مقالات اندازه‌گیری زوایای سر است.

برای تشخیص بیماری‌هایی که منجر به خارج شدن سر از حالت طبیعی می‌شوند، نیاز داریم تا میزان این انحراف را در هر یک از سه زاویه‌ی بیان شده، به دست آوریم. این کار در حال حاضر به وسیله‌ی ابزارهای هندسی مانند تورتیکولومتر، گونیومتر و ... انجام می‌پذیرد (شکل ۱-۳).

شکل ۱-۳- گونیومتر.

با توجه به این که اکثر بیماران را کودکان تشکیل می‌دهند، استفاده از این ابزار برای اندازه‌گیری میزان انحراف سر آن‌ها دشوار است و کودک حاضر نمی‌شود تا در یک حالت مشخص ثابت بماند که زاویه‌ی سرش اندازه‌گیری شود. به همین دلیل استفاده از یک دوربین برای تصویربرداری از کودک و سپس استخراج میزان انحراف سر در تصویر، هم باعث سادگی این کار می‌شود، هم سریع‌تر است و علاوه بر این‌ها از دقت بالاتری نیز برخوردار است.

۱–۲– تعریف مسأله

در این پروژه به دنبال طراحی و پیاده‌سازی سیستمی بودیم که به وسیله‌ی آن بتوان میزان انحراف سر بیمار را از وضعیت طبیعی آن اندازه گرفت. با استفاده از تصویر بیمار از روبه‌رو که بوسیله‌ی یک دوربین کینکت[1] تهیه می‌شود، حالت سر بیمار و میزان انحراف آن از حالت طبیعی، در سه درجه آزادی (Roll, Yaw, Pitch) اندازه گرفته می‌شود و سپس با استفاده از آن، مشکل احتمالی بیمار، به همراه زوایای به دست آمده به پزشک اعلام می‌شود، تا پزشک با توجه به آن بتواند تصمیمات لازم را اتخاذ کند. در قسمت ۱-۳ در مورد Kinect و در فصل سوم در مورد نحوه‌ی تشخیص مشکلات احتمالی بیمار از روی میزان انحرافات سر در جهت‌های مختلف توضیح داده شده است.

مسأله‌ی اندازه‌گیری زوایای سر به طور عام به دفعات در کاربردهای متفاوت مورد توجه قرار گرفته است. همان‌طور که در بالا به طور خلاصه ذکر شد، در این پروژه از این اندازه‌گیری‌ها در یک کاربرد خاص استفاده شده است. بنابراین فرض‌ها و محدودیت‌هایی وجود دارند که مختص این مسأله هستند و برای حل مسأله کاملا لحاظ شده‌اند. این مفروضات و محدودیت‌ها عبارتند از:

- از یک دوربین Kinect برای عکس‌برداری استفاده می‌شود.
- فرد در هنگام تصویر برداری در مکانی قرار می‌گیرد که حدودا یک متر با دوربین فاصله دارد.
- ارتفاع دوربین طوری تنظیم شده است که سر فرد تقریبا در مقابل دوربین قرار می‌گیرد.
- در لحظه‌ی عکس‌برداری، یک جسم کوچک با رنگی که جلب توجه کند روی دوربین قرار داده می‌شود و از فرد خواسته می‌شود تا به آن نگاه کند.

[1] kinect

- از آن‌جایی‌که اکثر بیماران را کودکان تشکیل می‌دهند، ممکن است فرد دیگری (مثلا مادر کودک) به همراه او در عکس حضور داشته باشد.
- این مسأله یک مسأله‌ی بلادرنگ نیست و دقت تخمین نسبت به سرعت تخمین از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.
- فرد بیمار از عینک استفاده نمی‌کند.

یک نکته‌ی مهم که بایستی مورد توجه قرار گیرد، دستگاه مختصاتی است که به دنبال تعیین زوایا در آن هستیم. در اینجا میزان انحراف سر نسبت به دستگاه مختصات اتاق سنجیده می‌شود. به طور مثال فرض کنید فرد طوری نشسته است که بدن او کج شده است و نسبت به زمین زاویه دارد، اما سر او نسبت به افق زاویه ندارد. در این حالت سر نسبت به بدن زاویه دارد اما در دستگاه مختصات اتاق انحرافی ندارد؛ در مثال بیان شده سیستم باید سر را بدون انحراف تشخیص دهد. بنابراین زاویه مورد نظر، نسبت به فضای دستگاه مختصات اتاق و نه نسبت به بدن فرد سنجیده می‌شود.

۱–۳– Kinect

Kinect ابزاری است که در سال ۲۰۱۰ به عنوان یک وسیله جانبی در کنار XBOX 360 معرفی شد. Kinect در واقع دوربینی است که در هنگام تصویر برداری، علاوه بر یک تصویر RGB از صحنه، اطلاعات عمق آن تصویر را نیز به ازای هر پیکسل در اختیار ما قرار می‌دهد. به همین دلیل این ابزار می‌تواند به منظور کاربردهای مختلفی در حوزه‌های گرافیک کامپیوتری، پردازش تصویر، بینایی ماشین و تعامل انسان با ماشین استفاده شود و ابزار پرکاربردی در صنعت باشد. به تصاویر RGB که عمق آن‌ها را نیز در اختیار داشته باشیم در اصطلاح تصاویر RGBD[1] گفته می‌شود [Cru 2012].

[1] RGB-Depth

در Kinect، عکس‌های رنگی به وسیله دوربین‌های RGB به‌دست می‌آیند و اندازه‌گیری عمق با استفاده از یک فرستنده و یک دوربین فروسرخ[1] (IR) انجام می‌شود. محاسبات با استفاده از تکنیک نور ساخت‌یافته صورت می‌پذیرد. در این روش یک الگو از پیکسل‌ها به صحنه تابانده می‌شود و با بررسی الگوی دریافتی توسط دوربین و اختلافات آن با الگوی ارسال شده، محاسبات مربوط به عمق انجام می‌شود. فرستنده و دوربین فروسرخ باید کالیبره باشند تا این محاسبات به درستی انجام شوند. شکل زیر نمونه‌ای از این دستگاه را نشان می‌دهد.

شکل ۱-٤- دوربین تصویربرداری Kinect[Cru 2012].

دوربین فروسرخ با سرعت ۳۰ هرتز کار می‌کند و تصاویری با اندازه‌ی ۱۲۰۰×۹۶۰ پیکسل تهیه می‌کند. این تصاویر به۶۴۰×۴۸۰ پیکسل ۱۱ بیتی تبدیل می‌شوند که ۲۰۴۸ سطح از حساسیت را برای ما ایجاد می‌کنند. دوربین RGB این دستگاه نیز با سرعت ۳۰ هرتز کار می‌کند و تصاویر ۶۴۰×۴۸۰ ثبت می‌کند. با توجه به این که Kinect را با استفاده از USB 2.0 به کامپیوتر متصل می‌کنیم که قابلیت عبوردهی کمی دارد، داده‌های Kinect حدود ۷۰ درصد از پهنای باند را به خود اختصاص می‌دهند و به همین علت است که امکان استفاده از دو دستگاه به طور همزمان از یک USB Hub وجود ندارد.

[1] Infra Red

میدان دید این دوربین به اندازه‌ی ۵۸ درجه افقی، ۴۵ درجه عمودی و ۷۰ درجه قطری[1] است. فاصله دوربین تا جسم مورد تصویربرداری باید بین ۸۰ سانتی‌متر تا سه و نیم متر باشد[Cru 2012].

۱–۴– اهداف انجام پایان‌نامه

هدف از انجام این پژوهش، تخمین حالت سر بیمارانی است که در اثر اختلالات چشمی، به مرور زمان سرشان از حالت طبیعی خارج شده است. این تخمین در سه درجه آزادی Roll, Yaw و Pitch انجام خواهد شد. هدف نهایی این است که با استفاده از این اطلاعات بتوانیم تشخیص مناسب را در مورد مشکل احتمالی بیمار انجام دهیم و نتایج را برای اقدامات بعدی در اختیار پزشک قرار دهیم تا تصمیمات لازم را در مورد نحوه‌ی درمان او اتخاذ کند.

گرچه این پژوهش تنها برای یک کاربرد خاص انجام می‌شود اما از نتیجه‌ی آن می‌توان در کاربردهای دیگری از قبیل تعامل ربات با انسان، سیستم‌های کمکی برای هشیاری راننده‌ها، پیدا کردن محل نگاه افراد و ... نیز استفاده کرد.

۱–۵– نوآوری‌های پایان‌نامه

با وجود پژوهش‌های فراوان در زمینه‌ی تخمین حالت سر، هیچ کدام از آن‌ها، این مسأله را برای کاربرد خاص مورد نظر ما بررسی نکرده‌اند؛ در نتیجه ویژگی‌های مختص این مسأله را نیز لحاظ ننموده‌اند. نوآوری موجود در این پژوهش، تخمین حالت سر و سپس استفاده از آن‌ها به منظور تشخیص مشکل چشم بیمار و در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز پزشک، برای تشخیص بهتر روند بیماری است.

در میان روش‌های موجود، روش‌های مبتنی بر تصاویر معمولی (دوبعدی) و روش‌هایی که از تصاویر دارای عمق با کیفیت بالا استفاده می‌کنند، به دلایلی که در فصل دوم توضیح داده می‌شوند، در این کاربرد

[1] diagonal

ترجیح داده نمی‌شوند. روش‌هایی که از تصاویر دارای عمق با رزولوشن پایین استفاده کرده‌اند دارای دقتی ناکافی برای کاربرد ما هستند. دقت به دست آمده در [Fan 2011b] که آخرین کار انجام شده در این حوزه است را در جدول ۱ مشاهده می‌کنید. در این جدول میانگین خطای مطلق به همراه میزان انحراف از معیار برای زوایای مختلف گزارش شده است که در کاربرد ما پذیرفته نیست و ما به دنبال روشی هستیم که میانگین خطای مطلقی در حدود ۵ درجه یا کمتر به همراه داشته باشد و انحراف از معیار خطای آن نیز کمتر از ۵ درجه باشد. بنابراین با استفاده از راهکار پیشنهادی به دنبال بهبود نتایج هستیم.

جدول ۱ -۱- نتایج به دست آمده در [**Fan 2011b**]

Stride	Head error	Yaw error	Pitch error	Roll error	Missed detections	Time
4	$14.7 \pm 22.5mm$	$9.2 \pm 13.7°$	$8.5 \pm 10.1°$	$8.0 \pm 8.3°$	1.0%	$87.5ms$
6	$14.5 \pm 22.1mm$	$9.1 \pm 13.6°$	$8.5 \pm 9.9°$	$8.0 \pm 8.3°$	1.5%	$24.6ms$
8	$14.1 \pm 20.2mm$	$9.0 \pm 13.2°$	$8.4 \pm 9.6°$	$8.0 \pm 8.3°$	2.1%	$11.8ms$
10	$14.6 \pm 22.3mm$	$8.9 \pm 13.0°$	$8.5 \pm 9.9°$	$7.9 \pm 8.3°$	2.3%	$7.7ms$

استفاده از بردار نرمال صفحه‌ی پیشانی انسان برای تعیین جهت سر، ایده‌ی جدیدی است که در این پروژه بر روی آن کار شده است. از آن‌جایی که در عمل پزشکان نیز از صفحه‌ی پیشانی برای تعیین میزان انحراف سر فرد استفاده می‌کنند، این معیار در این پژوهش برای اولین بار مورد توجه قرار گرفته است و می‌تواند به ما کمک کند تا به دقت مورد نظر برای این کاربرد دست پیدا کنیم. با استفاده‌ی به‌جا از تصاویر RGB و عمق در کنار هم می‌توان تخمین مناسبی از صفحه‌ی پیشانی به دست آورد و سپس با استفاده از بردار نرمال آن، زوایای سر در جهت‌های مختلف را پیدا کرد. اتکا به یک صفحه به جای چند نقطه‌ی خاص برای اندازه‌گیری زوایای سر به ما کمک می‌کند تا در صورت وجود خطا در ثبت عمق برخی پیکسل‌ها، نتیجه‌ی کار دچار خطای زیادی نشود.

۱–۶– ساختار پایان‌نامه

رئوس مطالب این پایان‌نامه به این صورت می‌باشد که در فصل دوم پایان‌نامه، به بررسی روش‌های موجود در تخمین زوایای سر می‌پردازیم. در فصل سوم روش پیشنهادی مطرح شده و به بررسی چگونگی ساختار الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود. در فصل چهارم، الگوریتم معرفی شده، در مقایسه با آخرین کار مشابه انجام شده در این زمینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این فصل کارایی الگوریتم ارائه شده را مورد آزمایش قرار می‌دهیم. در انتهای پایان‌نامه نیز به بحث و نتیجه‌گیری درباره روش پیشنهادی و زمینه‌های تحقیقاتی آینده آن می‌پردازیم.