

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پیاده سازی سیستم تشخیص استرس با استفاده از سیگنال‌های فیزیولوژیکی بر روی FPGA

پایان نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک

استاد راهنما:

دکتر جواد فرونچی

استاد مشاور:

دکتر علیرضا فرنام

پژوهش‌گر:

عدنان قادری

شهریور ماه ۱۳۹۳

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم.

تشکر و قدردانی:

از استادان گرانقدرم، جناب آقای دکتر جواد فرونچی و جناب آقای دکتر علیرضا فرنام که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی و مشاوره این پایان نامه را بر عهده گرفتند، کمال تقدیر و تشکر را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: قادری	نام: عدنان
عنوان پایان نامه: پیاده سازی سیستم تشخیص استرس با استفاده از سیگنال های فیزیولوژیکی بر روی FPGA	
استاد راهنما: دکتر جواد فرونچی استاد مشاور: دکتر علیرضا فرنام	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته تحصیلی: مهندسی برق گرایش: الکترونیک
دانشگاه: دانشگاه تبریز	دانشکده: مهندسی برق و کامپیوتر
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۹۳	تعداد صفحه: ۶۷
کلید واژه ها: استرس، سیگنال های فیزیولوژیکی، آرایه گیت های قابل برنامه ریزی (FPGA).	
<p>چکیده:</p> <p>وجود استرس در زندگی روزمره یکی از شایع ترین مسائل در زندگی انسان می باشد، با این حال اگر استرس تداوم داشته باشد، یا میزان استرس زیاد باشد، زندگی انسان مختل می شود، سلامتی اش به خطر می افتد و کارایی شخص در انجام کارها به شدت پایین می آید. بنابراین شناخت استرس و پیدا کردن الگوریتمی برای تشخیص استرس و پیاده سازی سخت افزاری یک سیستم که قابلیت تشخیص استرس را داشته باشد یکی از اهداف بزرگ در جهت کمک به پزشکان و افرادی که دچار استرس می شوند می باشد.</p> <p>در این پایان نامه به منظور تشخیص استرس با دقت بالا، ابتدا سیستم نرم افزاری طراحی گردید که پس از دریافت سیگنال های بیولوژیکی بدن از افراد در حین رانندگی در موقعیت ها و مکان های مختلف، ویژگی هایی را از سیگنال های دریافتی برای بازه های زمانی مختلف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ثانیه استخراج کرده و با استفاده از SVM و KNN، در دسته های مختلف، ویژگی ها طبقه بندی شد. نتایج تشخیص برای هر دسته مورد بررسی قرار گرفت و میزان استرس شخص برای سه سطح استرس کم، متوسط و زیاد با دقت بالای ۹۰٪ تشخیص داده شد. در نهایت برای یک حالت که پیاده سازی سخت افزاری آن کم هزینه باشد و دقت تشخیص جهت پیاده سازی سیستم سخت افزاری آن نیز بالا باشد انتخاب گردید.</p> <p>در قسمت پیاده سازی نرم افزاری برای بازه های زمانی مختلف دقت ۹۸.۴۱٪ و ۱۰۰٪ حاصل شد که در مقایسه با کارهای دیگر عملکرد بسیار مناسبی دارد. در قسمت سخت افزاری به منظور پیاده سازی بر روی تراشه FPGA از شرکت Xilinx به شماره virtex-4LX40 با استفاده از سه ویژگی و</p>	

طبقه بندی کننده ی SVM برای بازه زمانی ۱۰۰ ثانیه دقت ۱۰۰٪ حاصل شد که نشان دهنده تطبیق کامل نتایج سخت افزاری و نرم افزاری می باشد. حجم سخت افزار استفاده شده از FPGA، ۹۱٪ می باشد.

فهرست مطالب

۱	مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۴	فصل ۱: مروری بر منابع
۵	۱-۱- مقدمه
۶	۲-۱- استرس
۶	۱-۲-۱- ایجاد استرس
۸	۳-۱- سیگنال های بیولوژیکی
۹	۴-۱- مروری بر کارهای دیگران
۱۳	فصل ۲: مواد و روش ها
۱۴	۱-۲- مقدمه
۱۴	۲-۲- طراحی آزمایش
۱۶	۳-۲- استخراج ویژگی
۱۷	۱-۳-۲- ویژگی های حوزه زمان
۲۰	۲-۳-۲- ویژگی های حوزه فرکانس
۲۱	۴-۲- انتخاب ویژگی
۲۲	۵-۲- طبقه بندی
۲۳	۱-۵-۲- ماشین بردار پشتیبان (SVM)
۲۶	۲-۵-۲- K-نزدیک ترین همسایه (KNN)
۲۷	۶-۲- نتایج نرم افزاری
۳۵	فصل ۳: پیاده سازی سخت افزاری
۳۶	۱-۳- مقدمه
۳۶	۲-۳- ساختار کلی
۳۷	۲-۲-۳- سیگنال ورودی
۳۷	۳-۲-۳- استخراج ویژگی
۳۹	۴-۲-۳- طبقه بندی
۴۰	۳-۳- نتایج سخت افزاری
۴۸	فصل ۴: نتیجه گیری و پیشنهادها
۴۹	۱-۴- نتیجه گیری
۴۹	۲-۴- پیشنهادها

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمونه ای از Stroop colour [13] ۷
- شکل (۱-۲) سیستم تشخیص استرس ۱۴
- شکل (۲-۲) مسیر رانندگی ۱۵
- شکل (۳-۲) تخمین سطح استرس در مسیرهای مختلف ۱۶
- شکل (۴-۲) نحوه قرار گرفتن سنسورها [۲۳] ۱۶
- شکل (۵-۲) مرز خطی بهینه برای دوکلاس ۲۴
- شکل (۶-۲) سیگنال‌های مربوط به راننده ۰۶ ۲۷
- شکل (۷-۲) اولین قسمت استراحت یا استرس کم (Low Stress) ۲۸
- شکل (۸-۲) اولین قسمت شهر یا استرس زیاد (high Stress) ۲۸
- شکل (۹-۲) اولین قسمت بزرگراه یا استرس متوسط (Medium Stress) ۲۹
- شکل (۱۰-۲) اولین قسمت استراحت یا استرس کم (Low Stress) ۲۹
- شکل (۱۱-۲) اولین قسمت شهر یا استرس زیاد (high Stress) ۳۰
- شکل (۱۲-۲) اولین قسمت بزرگراه یا استرس متوسط (Medium Stress) ۳۰
- شکل (۱-۳) روال کلی پیاده سازی سخت افزاری ۳۷
- شکل (۲-۳) شماتیک بدست آوردن ویژگی اول ۳۸
- شکل (۳-۳) شماتیک کلی ویژگی دوم ۳۸
- شکل (۴-۳) شماتیک بدست آوردن پیک تو پیک ۳۹
- شکل (۵-۳) طبقه بندی SVM ۴۰
- شکل (۶-۳) نتایج سخت افزاری حالت اول برای استرس کم ۴۱
- شکل (۷-۳) نتایج سخت افزاری حالت دوم برای استرس کم ۴۱
- شکل (۸-۳) نتایج سخت افزاری حالت سوم برای استرس کم ۴۲
- شکل (۹-۳) نتایج سخت افزاری حالت چهارم برای استرس زیاد ۴۳
- شکل (۱۰-۳) نتایج سخت افزاری حالت پنجم برای استرس زیاد ۴۳
- شکل (۱۱-۳) نتایج سخت افزاری حالت ششم برای استرس زیاد ۴۴
- شکل (۱۲-۳) نتایج سخت افزاری حالت هفتم برای استرس متوسط ۴۴
- شکل (۱۳-۳) نتایج سخت افزاری حالت هشتم برای استرس متوسط ۴۵
- شکل (۱۴-۳) نتایج سخت افزاری حالت نهم برای استرس متوسط ۴۶

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) ویژگی‌ها و سمبل آن‌ها ۲۱
- جدول (۲-۲) فرکانس‌های مجهول در جدول ویژگی‌ها ۲۱
- جدول (۳-۲) آنالیز ویژگی‌ها برای بازه زمانی ۱۰۰ ثانیه با استفاده از SVM ۳۱
- جدول (۴-۲) آنالیز ویژگی‌ها برای بازه زمانی ۱۰۰ ثانیه با استفاده از KNN ۳۱
- جدول (۵-۲) آنالیز ویژگی‌ها برای بازه زمانی ۲۰۰ ثانیه با استفاده از SVM ۳۲
- جدول (۶-۲) آنالیز ویژگی‌ها برای بازه زمانی ۲۰۰ ثانیه با استفاده از KNN ۳۲
- جدول (۷-۲) آنالیز ویژگی‌ها برای بازه زمانی ۳۰۰ ثانیه با استفاده از SVM ۳۳
- جدول (۸-۲) آنالیز ویژگی‌ها برای بازه زمانی ۳۰۰ ثانیه با استفاده از KNN ۳۳
- جدول (۹-۲) خلاصه کارهای انجام شده ۳۴
- جدول (۱-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت اول ۴۱
- جدول (۲-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت دوم ۴۲
- جدول (۳-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت سوم ۴۲
- جدول (۴-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت چهارم ۴۳
- جدول (۵-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت پنجم ۴۴
- جدول (۶-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت ششم ۴۴
- جدول (۷-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت هفتم ۴۵
- جدول (۸-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت هشتم ۴۵
- جدول (۹-۳) مقایسه نتایج نرم افزاری Matlab با نتایج سخت افزاری برای حالت نهم ۴۶
- جدول (۱۰-۳) خلاصه سخت افزار مورد نیاز ۴۷

مقدمه

مقدمه

استرس فشاری است که در اثر تغییرات ایجاد شده در محیط بدن تحمیل می‌شود و بعضی از استرس‌ها مفید هستند اما وقتی از کنترل خارج می‌شوند، بدن به روش‌های مختلف از آثار سوء آن‌ها رنج می‌برد [۱].

استرس تحمیل شده، انرژی بدنی و ذهنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به دنبال استرس کاهش انرژی ذهنی و بدنی، خستگی، بی‌خوابی، تحریک پذیری و احساس افسردگی، افزایش ضربان قلب، بالا رفتن فشار خون، افت قندخون، آسیب پذیری سیستم ایمنی و تغییر در وضعیت اشتها ایجاد می‌شود. مجموع موارد ذکر شده تأثیرات نامطلوبی بر فعالیت فرد سالم گذاشته و باعث تضعیف بدن می‌شوند. بنابراین کاهش استرس یک فاکتور مهم در جلوگیری از بیمار شدن شخص می‌باشد. برای پیدا کردن الگوی مناسب تشخیص استرس، یکی از روش‌ها این است که ابتدا باید در شخص استرس ایجاد شود تا با استفاده از سنسورهایی که قابلیت تشخیص و ضبط سیگنال‌های بیولوژیکی را دارد، تغییرات ایجاد شده در شخص تعیین و مورد مطالعه قرار گیرد [۱].

یکی از موقعیت‌هایی که ممکن است شخص در آن دچار استرس شود، رانندگی در مکان‌های مختلف می‌باشد. در این پایان نامه داده‌های بدست آمده از افرادی است که در حین رانندگی در خیابان‌های شلوغ و آرام می‌باشند [۲].

الگوریتم عمومی تشخیص استرس بدین ترتیب است که پس از پردازش سیگنال‌های بدست آمده از سنسورها و استخراج ویژگی‌های مورد نیاز برای استرس و مطالعه آن‌ها، ویژگی‌های انتخاب شده را به دو روش SVM, KNN طبقه‌بندی کرده و سعی می‌شود با استفاده از کمترین تعداد ویژگی بیشترین دقت ممکن برای تشخیص استرس بدست آید. در نهایت یکی از حالت‌ها با هدف انتخاب مناسب‌ترین روش برای پیاده سازی بر روی FPGA انتخاب می‌شود.

ساختار کلی پایان‌نامه به این صورت است، که ابتدا در فصل اول با استرس و انواع روش‌های ایجاد استرس آشنا شده و همچنین پیشینه تحقیق مربوط به استرس مرور می‌شود. در فصل دوم نحوه بدست آوردن داده‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه و الگوریتم روش کار مورد بحث قرار می‌گیرد.

در فصل سوم با توجه به ویژگی های استخراج شده در فصل دوم، سخت افزار طراحی شده معرفی شده و نتایج آن مورد بررسی قرار می گیرد.

در نهایت در فصل چهارم به جمع بندی کار انجام گرفته در این پایان نامه پرداخته شده و پیشنهادهایی برای کارهای آتی داده می شود.

فصل ۱ :

مروری بر منابع

۱-۱- مقدمه

هنگامی که فرد در محیط کار یا زندگی با شرایطی روبرو می‌شود که این شرایط با ظرفیت و امکانات کنونی وی هماهنگی ندارد، دچار عدم تعادل، تعارض و کشمکش‌های درونی می‌شود که به آن استرس^۱ می‌گویند.

استرس به میزان کم برای انسان مفید است، چرا که یادگیری را پایدارتر، حافظه را نیرومندتر و عملکرد را بهتر می‌کند. در حقیقت استرس مثبت، نیروی محرکه لازم برای رعایت تقدم و تأخر فعالیت‌ها یا اتمام به موقع کارها را فراهم می‌آورد. تا زمانی که در فرد احساس کنترل وجود داشته باشد، استرس سودمند واقع می‌شود. اما اگر استرس ادامه‌دار باشد و یا میزان استرس وارد شده بر شخص زیاد باشد، اثرات روانی و جسمانی زیان‌باری برای شخص به دنبال دارد و این اثرات یکی از مهمترین عوامل پیدایش و شکل‌گیری بیماری‌های مختلف جسمانی و روانی می‌باشد [۳].

احساس اضطراب و افسردگی، اختلال در کارکرد دستگاه گوارش و تنفس و انقباض رگ‌های خونی، کاهش تمرکز، کاهش ظرفیت حافظه کوتاه مدت، افزایش پریشانی و حواس پرتی، افزایش گریز از کار و فعالیت و اختلال در الگوی خواب، زخم معده، سردردهای عصبی، ریزش مو و بسیاری از موارد زیانبار دیگر اثراتی هستند که به دلیل استرس زیاد در شخص بوجود می‌آیند [۴].

بنابراین دستیابی به الگوریتمی که قادر به تشخیص استرس باشد، کمک زیادی به کسانی که استرس دارند می‌کند و همچنین پزشکان می‌توانند با دانستن مقدار استرسی که شخص دارد، میزان دارویی که برای شخص تجویز می‌کنند متناسب با میزان استرس باشد.

یکی از روش‌های طبیعی ایجاد استرس، رانندگی در موقعیت‌های مختلف می‌باشد. قرار گرفتن شخص در موقعیت‌ها و مکان‌های مختلف در حین رانندگی، باعث ایجاد سطوح متفاوتی از استرس در راننده می‌شود.

¹ Stress

۱-۲- استرس

متخصصان تعاریف جالبی برای استرس ارائه داده‌اند، که تعدادی از آن‌ها به شرح زیر می‌باشند.

۱. ونگ : استرس در مفاهیم مهندسی ریشه دارد و به مقدار فشار بیرونی وارد شده بر جسم اشاره دارد.
۲. لازاروس و فلکمن: استرس رابطه اختصاصی بین شخص و محیطی است که در آن تنش ارزیابی شده از حد امکانات فرد فراتر رفته و سلامتی او را در معرض خطر قرار می‌دهد [۵].
۳. دویدسن و نیل: استرس به محرکی اطلاق می‌شود که می‌تواند تغییراتی را در شناخت و هیجان و رفتار و فیزیولوژی ایجاد کند [۶].
۴. هنس سلیی: استرس عکس العمل انسان است در مقابل فشار و یا استرس واکنش فیزیولوژیک بدن ماست در مقابل هر تغییر ، تهدید و فشار بیرونی یا درونی که تعادل روانی ما را بر هم زند [۷].

۱-۲-۱- ایجاد استرس

می‌توان با شناخت استرس، راه‌های مقابله با آن را اتخاذ کرده و از تاثیرات منفی آن کاست. اولین گام در مواجهه با استرس، ارزیابی صحیح آن است. بنابراین برای شناخت استرس در قدم اول باید آن را به وجود آورد و سپس با مطالعه بر روی آن و پیدا کردن الگوی مناسب استرس را تشخیص داد. برای ایجاد استرس در طول زمان روش‌های مختلفی استفاده شده است، که از مهمترین آن‌ها می‌توان به روش‌های زیر اشاره کرد:

□ استفاده از ترکیب رنگ‌ها و کلمات^۱

این روش [۸]، در سال ۱۹۳۵ توسط جان ریدلی^۲ ابداع شد. اساس این روش که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است بدین ترتیب است که از ترکیبی از کلمات با رنگ‌های مختلف استفاده

¹ Stroop colour

² John Ridley Stroop

می‌شود و در حالت کلی از سه مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول رنگ کلمات به صورت سیاه می‌باشد و شخص کفایت کلماتی که نوشته شده است را بخواند. در مرحله دوم رنگ کلمات با کلمه نوشته شده یکسان می‌باشد و در مرحله سوم رنگ کلمات با کلمه نوشته شده متفاوت می‌باشد و شخص باید رنگ کلمات را بخواند [۹-۱۲].

Stimuli 1	Purple	Brown	Red	Blue	Green	Neutral group
Stimuli 2	Red	Blue	Green	Purple	Yellow	Congruent group
Stimuli 3	Green	Yellow	Brown	Red	Purple	Incongruent group

شکل (۱-۱) نمونه ای از Stroop colour [13]

□ عملیات ریاضی در محیط‌های مختلف^۱

در این روش از انجام عملیات متوالی ریاضی در محیط‌های ساکت یا پر سروصدا در مقابل افراد مختلف برای ایجاد استرس استفاده می‌شود [۱۴-۱۶].

□ استفاده از آب سرد^۲

در این روش شخص کفایت برای مدت معین دستش را در آب سرد قرار دهد [۱۷, ۱۸].

□ سخنرانی در مکان عمومی^۳

این روش شامل سخنرانی ساختگی در مقابل افراد ناشناس می‌باشد، البته در مواردی از عملیات ریاضی در بین سخنرانی هم استفاده می‌شود [۱۹].

¹ Mental Arithmetic test

² Cold pressure test

³ Public Speaking task

□ رانندگی^۱ در جاده های مختلف

در مورد این روش در فصل دوم بحث می شود.

۱-۳- سیگنال های بیولوژیکی^۲

تحقیقات انجام شده در زمینه ی تشخیص استرس نشان داده است که می توان استرس را با استفاده از اطلاعاتی که از سیگنال های بیولوژیکی بدست می آید، تشخیص داد. در هنگام استرس در بدن انسان تغییراتی صورت می گیرد، این تغییرات را می توان با استفاده از سنسورهای که به بدن شخص وصل می شود، ضبط کرد. مواردی از تغییرات سیگنال های بیولوژیکی بدن انسان در هنگام استرس و سنسور شناسایی آن به شرح زیر می باشد [۲۰]:

تغییرات در مقاومت پوستی بدن (سنسور GSR^۳) ، تغییر در ضربان قلب (سنسور ECG^۴)، تغییر در تنفس (سنسور Respiration)، سردردهای عصبی (سنسور EEG^۵) و کشش عضلانی (سنسور EMG). کشش عضلانی بیشتر در ناحیه انتهای پشت گردن و شانه ها رخ می دهد. حال به طور مختصر در مورد این سنسورها بحث می شود [۲۱].

۱. ECG : به نمودار ثبت شده تغییرات پتانسیل الکتریکی ناشی از تحرک عضله قلب گفته

می شود.

۲. EMG : تکنیکی است برای محاسبه و ضبط حالات عضلات بدن در موقع انقباض و

انبساط عضلات.

۳. EEG : ثبت فعالیت الکتریکی مغز است، این تکنیک شامل اخذ سیگنال توسط

الکترودهای سطحی، بهبود سیگنال (معمولا تقویت و حذف نویز)، چاپ سیگنال و آنالیز آن

می باشد. نتایج حاصل از EEG را نمی توان به صورت مستقیم و تنها با مشاهده سیگنال مورد

بررسی و تفسیر قرار داد و از روی آن ناهنجاری را تشخیص داد. معمولا طیف فرکانسی این

¹ Driving

² Biological

³ Galvanic Skin Response

⁴ Electrocardiogram

⁵ Electroencephalogram

سیگنال حاوی اطلاعات مفیدی می‌باشد.

۴. HR^۱: به ریتم تپیدن قلب گفته می‌شود که از روی سیگنال ECG بدست می‌آید.
۵. EDR^۲: پاسخ هدایت پوست یا پاسخ الکتریکی پوست پدیده‌ای است که در اثر تحریک خارجی یا داخلی پوست به صورت هدایت کننده بهتری در می‌آید، برای اندازه گیری از کف دست یا پاشنه پا استفاده می‌شود که نسبت به تحریک حساس تر هستند. طریقه ثبت به این صورت است که دو الکتروود در نزدیکی پوست قرار داده و جریان کمی را عبور می‌دهند سپس میزان هدایت را بدست می‌آورند. در هنگام تحریک هدایت الکتریکی بیشتر خواهد شد.
۶. GSR: یکی از انواع پاسخ‌های الکتریکی پوست، EDR است. پوست انسان‌هادی خوب الکتریسته است و اگر جریان الکتریکی ضعیفی به پوست داده شود تغییر هدایت پوست را می‌توان اندازه گرفت. توسط تقویت کننده GSR ولتاژ کوچکی که قابل درک نیست به پوست اعمال می‌شود و تغییرات کم جریان آشکار و نمایش داده می‌شود. تغییرات در هدایت پوست در اثر اعمال محرک‌ها (نور، صدا و ...) را GSR گویند.
۷. Respiration: دستگاه تنفس اکسیژن را برای بدن تامین می‌کند و دی اکسید کربن موجود در بافت‌ها را به خارج از بدن منتقل می‌کند. تنفس یکی از دقیقترین سیگنال‌ها برای تشخیص استرس می‌باشد که با اندازه گیری گاز مبادله شده ریه‌ها بدست می‌آید.

۴-۱- مروری بر کارهای دیگران

در زمینه تشخیص استرس مطالعاتی انجام شده است که در اینجا مروری داریم به مهم‌ترین مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است.

خانم جنیفر هیلی^۳ و خانم روزلیند پیکارد^۴ [22, 23] تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه تشخیص استرس انجام داده‌اند و می‌توان گفت یکی از بهترین کارهایی که تا به حال در این زمینه انجام شده، توسط آن‌ها انجام گرفته است. آن‌ها آزمایش‌هایشان را در خیابان‌های شهر بوستون بر روی

¹ Heart Rate

² Electro Dermal Response

³ Jennifer A. Healey

⁴ Rosalind W. Picard

هفته نفر انجام دادند، به این صورت که برای ایجاد استرس، از افراد مورد آزمایش خواستند در یک مسیر تعیین شده در شهر بوستون^۱ که شامل پانزده دقیقه استراحت در داخل ماشین و در یک گاراژ، سپس رانندگی به مدت ده تا بیست دقیقه در داخل شهر و در یک مسیر شلوغ که ماشین‌های زیادی رفت و آمد می‌کردند و سپس ده تا پانزده دقیقه رانندگی در داخل اتوبان که ماشین‌های کمتری نسبت به حالت قبل بود، رانندگی کنند و سپس همین مسیر را به سمت گاراژ برگردند و پانزده دقیقه استراحت کنند.

خانم جنیفر هیلی و خانم روزلیند پیکارد در حین رانندگی به اشخاص سنسورهای مختلفی مانند Respiration, GSR, EMG و ECG را وصل کرده بودند تا بتوانند تغییرات ایجاد شده در سیگنال‌های بیولوژیکی اشخاص را مشاهده کنند، و همچنین تعبیه دوربین در داخل ماشین که حالت شخص را نشان دهد. در طول آزمایش تا آنجا که ممکن بود سعی شده افراد بدون حرکت اضافی رانندگی کنند و هیچ حرکت اضافی نداشته باشند تا دیتای دقیقتری بدست آید. در آخر آزمایش از طریق پرسش‌نامه‌هایی که اشخاص پاسخ می‌دادند، میزان استرس آن‌ها را در مکان‌های مختلفی که رانندگی می‌کردند ارزیابی کردند و به نتایج خوبی نیز دست پیدا کردند و در نهایت با استفاده از بیست و دو ویژگی، به دقت ۹۷٪ برای تشخیص اینکه استرس شخص کم، متوسط و یا زیاد است، دست یافتند.

البته خانم جنیفر هیلی و خانم روزلیند پیکارد اطلاعات زیادی در مورد پرسش‌نامه‌ها و ضبط ویدیویی که در حین آزمایش از افراد گرفته شد را منتشر نکردند.

سومان^۲ و همکارانش بر اساس داده‌های خانم جنیفر هیلی و خانم روزلیند پیکارد مطالعاتی را بر روی داده‌های بدست آمده انجام دادند و البته بیشتر روی سیگنال‌های ECG و Respiration کار کردند. آن‌ها از سیگنال ECG، طیف توان QRS و از سیگنال Respiration، نرخ تنفس^۳ را استخراج کردند و در نهایت ارتباط این دو ویژگی را با استرس بررسی کردند اما اطلاعات زیادی در مورد احتمال درستی تشخیص استرس را با این ویژگی‌ها بیان نکردند [24].

دنگ^۴ و همکارانش هم بر اساس داده‌های خانم جنیفر هیلی و خانم روزلیند پیکارد تحقیقاتی را برای تشخیص استرس انجام دادند. آن‌ها ویژگی‌های اساسی برای تشخیص استرس را با استفاده از

¹ Boston

² K. Soman

³ Breathing Rate

⁴ Y. Deng