



ایجاد یک شاخص عددی جهت اندازه‌گیری میزان بار کاری در شبیه‌ساز وظایف خلبان

محمدرضا مرتضوی^۱، کامران رئیسی^{۲*}، سیدحامد هاشمی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر و پژوهشگاه هوافضا، تهران، ایران

^۲ استادیار، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۳ استادیار، پژوهشگاه هوافضا، تهران، ایران

نویسنده مسئول: کامران رئیسی، استادیار، دانشکده مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. ایمیل: k_raissi@aut.ac.ir

DOI: 10.21859/joe-04044

چکیده

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۲۶

مقدمه: بررسی عملکردی خلبان در زمانی که چندین وظیفه مختلف بر عهده وی گذاشته می‌شود، مستلزم رویه‌ای می‌باشد که بر مبنای آن، بتوان مشخصه‌های یک سناریو را با کمک شبیه‌ساز طی یک روند سیستماتیک بدست آورد. سیمولاتور عملکرد چند وظیفه‌ای خلبان یک شبیه‌ساز استاندارد از وظایف کلی خلبان می‌باشد که در سازمان ناسا توسعه یافته است.

روش کار: با بهره‌گیری از تئوری اطلاعات، نرخ تبادل داده تولید شده در زیرسیستم‌های مختلف شبیه‌ساز محاسبه شده و با برآیند گرفتن از آن‌ها، یک ملاک عددی واحد جهت تخمین بار کاری کلی ارائه گردید. پس از آن به منظور بررسی اعتبار شاخص استخراج شده، سه تست طراحی گردید که در آن‌ها سطوح مختلف بار کاری شامل کم، متوسط و زیاد بر مبنای نرخ تبادل داده بکار رفته در هر یک برچسب زده شد. این تست‌ها توسط سوژه‌های انسانی در جایگاه خلبان اجرا شده و در خلال آن‌ها، نظر شخصی هر فرد پیرامون بار کاری ادراک شده توسط او به وسیله پرسشنامه ناسا-تی‌ال‌ایکس ثبت گردید.

یافته‌ها: نتایج بدست آمده حکایت از آن دارد که میانگین نمره اختصاص داده شده از سوی سوژه‌ها به بار کاری کلی، در سه سطح تعریف شده با استفاده از تئوری اطلاعات، دارای اختلاف معنادار آماری می‌باشد ($P < 0.001$)؛ به صورتی که این مقدار از سطح کم به متوسط و از متوسط به زیاد، روند صعودی قابل توجهی را از خود نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری: شاخص کمی پیشنهاد شده، در تعیین میزان بار کاری موجود در شبیه‌ساز ناسا از کارایی کافی برخوردار است.

واژگان کلیدی:

شبیه‌ساز عملکرد چند وظیفه‌ای خلبان

تعامل انسان و ماشین

بار کاری

تئوری اطلاعات

نرخ تبادل داده

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

مقدمه

ارزیابی بار کاری در یک سیستم، از طریق دو دیدگاه شخصی (subjective) و عینی (objective) امکان‌پذیر است. روش‌های درجه‌بندی شخصی، متداول‌ترین ابزار مورد استفاده جهت سنجش بار شناختی یک فعالیت هستند که دلیل عمده این امر، استفاده آسان و نسبتاً ارزان از آن‌ها بدون نیاز به تجهیزات ویژه می‌باشد. این تکنیک‌ها همچنین از مقبولیت بالایی نزد اپراتورها برخوردارند، زیرا فرصت اظهارنظر پیرامون ویژگی‌های سیستم را در اختیار آن‌ها قرار می‌دهند. به علاوه این نوع از روش‌ها، نسبت به تغییرات بار کاری از حساسیت مناسبی برخوردار هستند [۶]. به عنوان یکی از شناخته شده‌ترین ابزارهای هماهنگ با رویکرد شخصی، ناسا-تی‌ال‌ایکس (NASA-TLX) رویه‌ای استاندارد جهت ارزیابی بار کاری کلی ادراک شده توسط اپراتور در قالب پرسشنامه می‌باشد که بوسیله گروه پژوهشی "کارایی

بی شک کنترل کردن یک هواپیما، نیازمند تلاش ذهنی مداوم از سوی خلبان و توزیع منابع توجه او بین وظایف مختلف موجود در هر لحظه می‌باشد. شبیه‌ساز عملکرد چند وظیفه‌ای خلبان (multi attribute task battery, MATB-II) ابزاری استاندارد و کاربردی برای ارزیابی عملکرد کلی خلبان می‌باشد که در سازمان هوانوردی و فضانوردی آمریکا (NASA) طراحی شده است [۱]. این شبیه‌ساز تاکنون به عنوان ابزاری قوی، در مراکز تحقیقاتی معتبر از سراسر دنیا و به خصوص آمریکا، در زمینه مطالعات مرتبط با موضوع تعامل انسان و ماشین (human machine interface, HMI) مورد استفاده قرار گرفته است [۲-۵].

یکی از موضوعات مورد توجه در زمینه تعامل انسان و ماشین در هر مجموعه مرکب از این دو عنصر نظیر شبیه‌ساز MATB-II، عامل بار کاری می‌باشد. به طور کلی

استخراج شده از تئوری اطلاعات، تابعی به صورت زیر خواهد بود:

فرمول ۱.

$$h(X) = \log_2 p(X)$$

در شرایط خاص وقتی که X دارای K حالت با احتمال وقوع یکنواخت باشد (یعنی زمانی که آنتروپی X ماکزیمم است)، $h(X)$ به صورت رابطه ۲ قابل بازنویسی است:

فرمول ۲.

$$h(X) = \log_2 K$$

با پیدایش تئوری اطلاعات، مدلسازی کمی ظرفیت انسان در پردازش اطلاعات میسر گردید که نتایج آن در قالب دو قانون هیک-هایمن (Hick-Hyman) و فیتس (Fitts) قابل بیان است. بر طبق قانون هیک-هایمن، زمان واکنش یک اپراتور با مقدار اطلاعات موجود در یک سیگنال محرک (stimulus signal) به صورت خطی در ارتباط است [۱۴، ۱۵]. فیتس نیز اثبات نمود که زمان لازم برای ایجاد حرکت با دامنه میانگین A توسط انسان، یک تابع خطی از شاخص دشواری ارائه شده در رابطه ۳ است:

فرمول ۳.

$$h(X) = \log_2 A / (W_s / 2)$$

که در آن W_s محدوده مجاز حرکت (tolerance range)، یعنی ناحیه قابل قبولی که مطلوب است نتیجه جابجایی در آن قرار گیرد، می باشد [۱۶].

بر پایه مبانی ذکر شده در بالا، حال می توانیم نرخ تبادل داده (baud rate) را برای یک سیگنال محرک تعریف کنیم. نرخ تبادل داده که با B نمایش داده می شود، از تقسیم محتوای اطلاعات فضایی سیگنال (h) بر محتوای اطلاعات زمانی (temporal information content) آن بدست می آید؛ در جایی که محتوای اطلاعات زمانی که آن را با Δt نشان می دهیم، به صورت میانگین زمان موجود بین تغییر حالت در سیگنال یا همان وقوع رخدادها تعریف می شود [۱۷].

فرمول ۴.

$$B = h / \Delta t$$

اگر با سیستمی متشکل از مجموعه I زیرسیستم سروکار داشته باشیم که در هر کدام از آن‌ها اطلاعات با نرخ تبادل داده مستقل B_i تولید شود، آنگاه نرخ تبادل داده کلی ایجاد شده در این سیستم حاصل جمع نرخ تبادل داده تک تک اجزای آن است؛ به عبارت دیگر:

فرمول ۵.

$$B_{\text{Total}} = \sum_i B_i = \sum_i h_i / \Delta t_i$$

انسان" در مرکز تحقیقاتی ایمز (Ames) از ناسا توسعه یافته است [۷]. این پرسشنامه ساده و در عین حال کارآمد، تا به امروز در مثال‌های متعددی از زمینه‌های مختلف کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است [۸-۱۱].

علی‌رغم مزایای ذکر شده، متأسفانه مقیاس‌های درجه‌بندی شخصی لزوماً همیشه به یک تشخیص صحیح منتهی نمی‌شوند. به عنوان نمونه هنگامی که عملکرد خلبان‌ها دچار نقصان می‌گردد، آن‌ها به طور ناخودآگاه تمایل دارند میزان تلاش ذهنی را بالا جلوه دهند، حتی در صورتی که تلاش زیادی مورد نیاز نباشد [۶]. بنابراین این فرم از درجه‌بندی‌ها تابعی از تمایلات افراد بوده و چنانچه بلافاصله پس از انجام کار بدست نیایند، تحت تأثیر حافظه نیز قرار خواهند گرفت. در چنین شرایطی است که لزوم در اختیار داشتن ملاک‌های عینی جهت سنجش بارکاری نمایان می‌شود که یکی از راهکارهای ممکن در این زمینه، استفاده از تئوری اطلاعات است.

پیدایش تئوری اطلاعات مرهون کارهای صورت پذیرفته توسط شانون (Shannon) در دهه پنجم از قرن بیستم میلادی است. این تئوری با استفاده از مفاهیم مرتبط با علم احتمال، یک معیار کمی جهت اندازه‌گیری میزان اطلاعات بدست آمده از مشاهده یک سیگنال را در اختیار ما قرار می‌دهد [۱۲]. بدین ترتیب می‌توان با اتخاذ رویکردی مبتنی بر تئوری اطلاعات، حجم اطلاعات ورودی که باید در شبیه‌ساز توسط خلبان مورد پردازش قرار گیرد را بدست آورد و به یک راه‌حل عینی، جهت تخمین بارکاری واقعی موجود دست یافت. در حالی که نتایج قابل استخراج از رویکردهای شخصی به دلیل وابسته بودن آن‌ها به اظهارنظر اپراتور، تنها پس از انجام تست در دسترس است، یکی از مزایای مهم ایده مذکور قابلیت پیش‌بینی آن می‌باشد؛ بدین معنا که طراح تست می‌تواند قبل از انجام آن توسط سوژه‌ها، به تقریب مناسبی از شدت سختی سناریو دست یابد.

روش کار

تئوری اطلاعات

برای متغیر اتفاقی گسسته $h(X)$ ، X را به عنوان تابع ارائه دهنده محتوای اطلاعات فضایی (spatial information content) متناظر با X در نظر می‌گیریم که ما به دنبال انتخاب مناسب آن هستیم [۱۳]. بر اساس تئوری اطلاعات، آگاهی از مقدار X به ازای هر بار مشاهده این متغیر اتفاقی، میزان مشخصی از اطلاعات $h(X)$ را در اختیار ما می‌گذارد که با احتمال ایجاد آن مقدار خاص برای X متناسب است. بدین ترتیب یک انتخاب قابل قبول برای شاخص عددی

شبیه‌ساز MATB-II

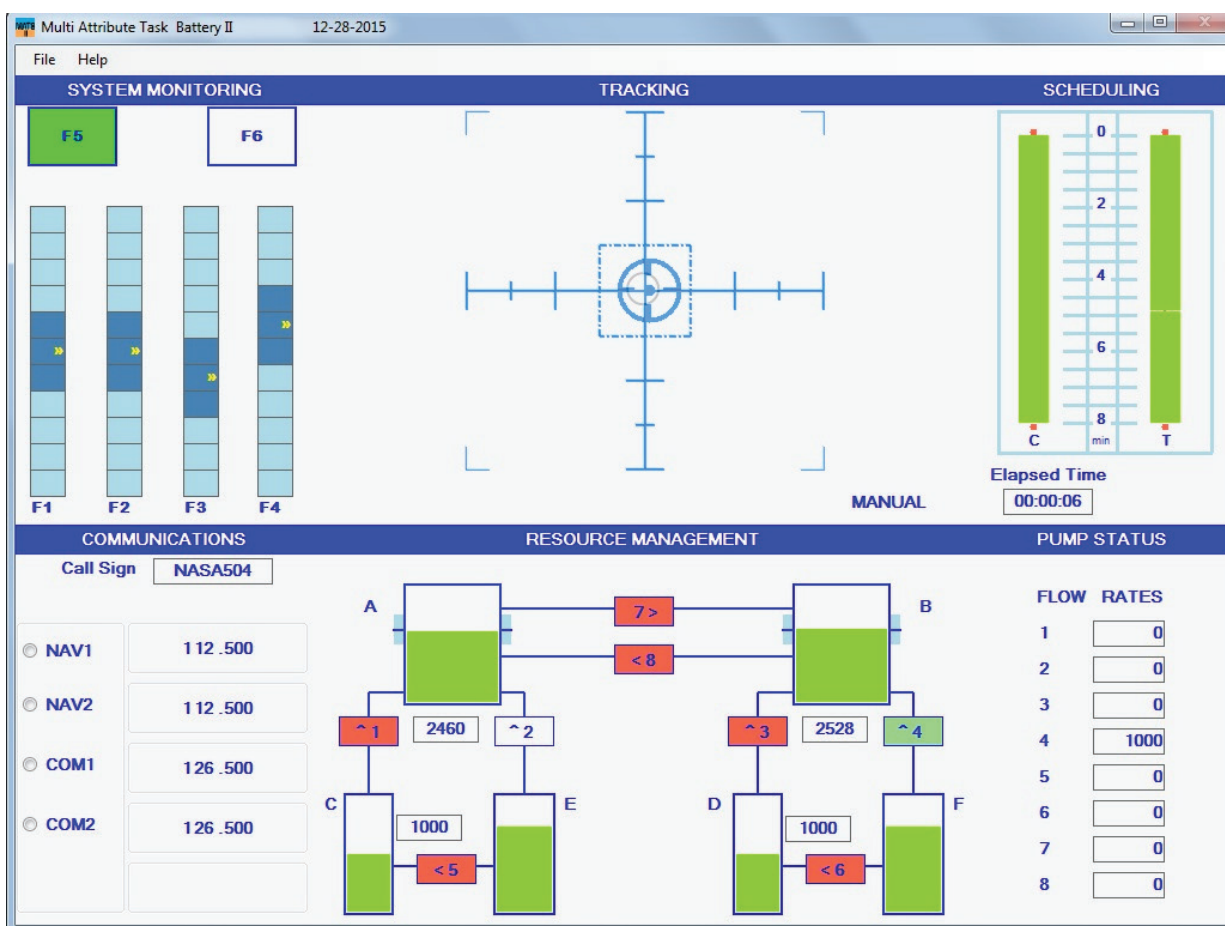
دایره ثابت موجود با قطر ۲۷ پیکسل ($D' = 3l = 27 \text{ pixel}$) خارج نگردد. با توجه به قانون فیتس، چنین قیدی ناحیه تفرانسیبی برابر با $W_p = D' - D = 2D$ را در پی خواهد داشت. تحریک‌های اعمال شده رفتار رندوم دارند، یعنی جهت و میزان حرکت نشانگر اتفاقی بوده و برای سوژه قابل پیش‌بینی نیست؛ ضمن اینکه شدت آن توسط طراح تست در سه درجه کم با سرعت متوسط تقریبی $\bar{V}_T = 4/50 \text{ pixel/s}$ ، متعادل با سرعت متوسط تقریبی $\bar{V}_T = 8/52 \text{ pixel/s}$ و زیاد با سرعت متوسط تقریبی $\bar{V}_T = 12/35 \text{ pixel/s}$ قابل تنظیم می‌باشد. اگر سناریویی را در نظر بگیریم که طی آن دایره متحرک در مدت زمان متوسط $\Delta t_T = 3D$ به اندازه میانگین $A_T = 3D$ جابجا شود، حذف پیوسته این اغتشاش و حفظ دایره متحرک در داخل دایره ثابت، با محتوای اطلاعات فضایی بدست آمده مبتنی بر قانون فیتس (رابطه ۳) معادل است:

$$h_T = \log_2 3D / (2D/2) = 1.59 \text{ bit}$$

آنچنان که در تصویر ۱ دیده می‌شود، شبیه‌ساز مهارت‌های عمده لازم برای یک خلبان شامل رهگیری (tracking)، پایش (monitoring)، برقراری ارتباط (communications) و مدیریت منابع (resource management) را دربر دارد که هر کدام از آن‌ها، بخشی از پنجره اصلی برنامه را به خود اختصاص می‌دهد [۱]. بر این اساس مجموعه i در رابطه ۵، برای شبیه‌ساز به صورت $i = \{T, S, L, R, C\}$ قابل نمایش است که در آن T به زیرسیستم رهگیری، S و L به بخش‌های شاخص‌ها (scales) و چراغ‌ها (lights) از زیرسیستم پایش، R به زیرسیستم مدیریت منابع و C به زیرسیستم برقراری ارتباط اشاره دارد.

زیرسیستم رهگیری

در این زیرسیستم هدف آنست که دایره متحرک به قطر ۹ پیکسل ($D = l = 9 \text{ pixel}$)، در هر لحظه از زمان در حداقل فاصله از مرکز پنجره قرار داشته باشد؛ به نحوی که هیچ‌گاه از داخل



تصویر ۱: شمای کلی شبیه‌ساز عملکرد چند وظیفه‌ای خلبان

مدیریت دو پمپ ۲ و ۴، سطح سوخت باقیمانده در تانک‌های A و B را در محدوده مجاز حفظ نماید. روشن و خاموش نمودن این دو پمپ با فشردن کلیدهای ۲ و ۴ از صفحه کلید امکان پذیر است که با هر بار زدن این دو کلید، رنگ پمپ‌ها به رنگ سبز (حالت فعال) یا رنگ پس‌زمینه (حالت غیرفعال) تغییر خواهد کرد. بدین ترتیب با $K_R = 2$ ، مقدار h_R بدست می‌آید: فرمول ۱۰.

$$h_R = \log_2 2 = 1 \text{ bit}$$

در آغاز تست، هر یک از دو تانک A و B حاوی ۲۵۰۰ واحد سوخت با نرخ مصرف ثابت $V = 500 \text{ units/min}$ می‌باشد که بر اساس الزام قرارداده شده، نباید مقدار آن از بازه $2500 \pm \Delta V$ واحد با 100 units خارج گردد. همچنین دبی عبوری از پمپ‌های ۲ و ۴ برابر $2V$ تنظیم می‌شود که در این صورت، صرف‌نظر از روشن یا خاموش بودن پمپ‌ها، نرخ خالص تغییر حجم سوخت در طول زمان همواره مقدار ثابت خواهد بود. در چنین شرایطی، Δt_R به عنوان زمان لازم برای رسیدن سطح سوخت از خط میانی مرجع به یکی از دو مرز مجاز بالا یا پایین قابل محاسبه است: فرمول ۱۱.

$$\Delta t_R = \Delta V / V^*$$

زیرسیستم برقراری ارتباط

در فعالیت مربوط به این زیرسیستم، خلبان موظف است که بر مبنای پیام صوتی دریافت شده، رادیو (Radio) و فرکانس (frequency) فعلی را به رادیو و فرکانس درخواستی تغییر دهد. هر پیغام صوتی دریافتی، از سه بخش اصلی تشکیل شده است. در ابتدا، پیام با اعلام کد شناسایی وسیله پرنده آغاز می‌شود که این کد، در تمامی پیام‌ها ثابت بوده و برابر "ناسا ۵۰۴" می‌باشد. سپس در بخش دوم، رادیوی مورد نظر برای تنظیم، یعنی یکی از انتخاب‌های NAV1، NAV2، COM1 یا COM2 قرائت می‌شود که خلبان از طریق بکارگیری یکی از کلیدهای F9، F10، F11 یا F12 قادر خواهد بود تا رادیوی درخواست شده را برگزیند. از اینرو به ازای $K_{CR} = 4$ (اندیس R برای رادیو)، مقدار اطلاعات فضایی h_{CR} برابر خواهد بود با: فرمول ۱۲.

$$h_{CR} = \log_2 4 = 2 \text{ bits}$$

در بخش پایانی پیام نیز، فرکانس لازم اعلام می‌گردد که این فرکانس از دو بخش صحیح و اعشاری تشکیل شده است. برای تنظیم بخش صحیح از فرکانس، سوژه باید ضمن نگه داشتن کلید Ctrl، یکی از جهت‌های بالا یا پایین را بکار برد؛ در مورد بخش اعشاری نیز روند همینطور است با این تفاوت که بجای کلید Ctrl، باید کلید Alt فشار داده شده باشد. پس از اتمام

در جایی که Δt_T از رابطه ۷ و به ازای سه سطح متفاوت سرعت متوسط قابل محاسبه می‌باشد: فرمول ۷.

$$\Delta t_T = A_T / V_T = 27 / V_T$$

زیرسیستم پایش

بخش شاخص‌ها که در قسمت پایینی پنجره اختصاص داده شده به زیرسیستم پایش قرار دارد، شامل چهار ستون مدرج می‌باشد. در مرکز هر ستون یک شاخص وجود دارد که در شرایط عادی، حول مرکز ستون نوسانات کم دامنه‌ای را انجام می‌دهد. چنانچه یکی از شاخص‌ها از وضعیت نرمال خارج شود، به بالا یا پایین ستون منتقل گشته و در آنجا به نوسانات خود ادامه می‌دهد. وظیفه خلبان آنست که بلافاصله بعد از دیدن این وضعیت در هر یک از ستون‌ها، با فشردن کلید مربوط به آن (یکی از کلیدهای F1، F2، F3 یا F4) نسبت به این اتفاق واکنش نشان دهد. بنابراین به ازای هر تحریک در بخش شاخص‌ها، سوژه با انتخاب یکی از چهار کلید ممکن مواجه بوده و $K_S = 4$ می‌باشد. با جایگذاری این مقدار در رابطه ۲ داریم: فرمول ۸.

$$h_S = \log_2 4 = 2 \text{ bits}$$

بخش چراغ‌ها نیز شامل دو چراغ سمبلیک با کارکرد متفاوت می‌باشد. در شرایط عادی چراغ سمت چپ با رنگ سبز، به عنوان نمادی از داشتن وضعیت نرمال در سیستم، به طور پیوسته روشن است. خاموش شدن چراغ سبز، نشان‌دهنده خروج از حالت نرمال می‌باشد و در این وضعیت لازم است که کاربر در حداقل زمان ممکن، با فشردن کلید F5 از صفحه کلید، شرایط را به وضعیت عادی بازگرداند. از سوی دیگر چراغ سمت راست در حالت عادی خاموش است؛ مگر آنکه به شکل نمادین و به عنوان نشانه‌ای از وقوع یک شرایط اضطراری، به رنگ قرمز درآید. خلبان به محض مشاهده روشن شدن چراغ قرمز، یک مدت زمان مشخص فرصت دارد تا با فشردن کلید F6 از صفحه کلید، مطلع بودن خود را از وضعیت رخ داده نشان داده و چراغ را به حالت خاموش بازگرداند. پس به ازای هر واقعه در قسمت چراغ‌ها، امکان فشردن یکی از دو کلید F5 یا F6 وجود دارد که $K_L = 2$ را نتیجه می‌دهد. لذا: فرمول ۹.

$$h_L = \log_2 2 = 1 \text{ bit}$$

Δt_L و Δt_S در رابطه ۵، با توجه به نرخ تبادل داده مدنظر طراح تست در سناریو قابل تنظیم است.

زیرسیستم مدیریت منابع

وظیفه خلبان در قبال این زیرسیستم آنست که از طریق

فاز آموزش آغاز گردید. در ابتدای این مرحله، با مطالعه فایل آشنایی با شبیه‌ساز و همین‌طور شرکت در جلسه حضوری معرفی، افراد با بخش‌های مختلف سیمولاتور و نحوه تعامل با آن آشنا شدند. در گام بعدی با اجرای سناریوهای آموزشی در نظر گرفته شده در محیط اصلی برنامه در هشت روز مختلف، داوطلبین به صورت عملی کار با شبیه‌ساز را تجربه کردند که این روند برای هر یک از سوژه‌ها با قید دستیابی آن‌ها به عملکرد پایدار، به طور میانگین حدود دو ساعت به طول انجامید. با تکمیل فرآیند آموزش و حذف اثر یادگیری، مرحله ارزیابی نهایی شروع شد که در آن، سناریوهای اصلی مورد نظر به عنوان ملاک ارزیابی عملکرد سوژه‌ها در کار با سیمولاتور مورد استفاده قرار گرفت.

در این فاز، سیزده فرد شرکت‌کننده سه تست جداگانه را در سه روز مجزا انجام دادند؛ بنابراین تعداد کل آزمون‌های اجرا شده برابر ۳۹ عدد می‌باشد. تمامی تست‌های طراحی شده شامل سه بخش پنج دقیقه‌ای و در مجموع ۱۵ دقیقه بود که در هر کدام از این بخش‌ها، یکی از درجات در نظر گرفته شده برای بار کاری شامل کم، متوسط یا زیاد با دخیل کردن هر چهار زیرسیستم موجود در شبیه‌ساز پیاده‌سازی گردید. مطالعات پیشین نشان می‌دهد که نرخ تبادل داده تقریبی ۱ bit/s، یک حد میانی برای توانایی پردازش اطلاعات توسط انسان است؛ به نحوی که نرخ‌های تبادل داده خیلی کمتر از این مقدار چالش عمده‌ای را برای فرد به همراه ندارد و در نقطه مقابل، رساندن این نرخ به نزدیک ۲ bit/s، او را به آستانه ظرفیت پردازشی خود می‌رساند [۱۸، ۱۹]. لذا با آگاهی از این نکته سطوح مختلف بار کاری در سه طبقه کم، متوسط و زیاد به ترتیب با تنظیم نرخ تبادل داده در حدود ۰/۵ bit/s، ۱ bit/s و ۱/۵ bit/s ایجاد شدند که اطلاعات مربوط به آن‌ها، در جدول‌های ۱ و ۲ قابل رؤیت است. بلافاصله بعد از اتمام هر قسمت پنج دقیقه‌ای، نظر سوژه در مورد بار کاری احساس شده توسط او با استفاده از پرسشنامه ناسا-تال ایکس اضافه شده به شبیه‌ساز ثبت گردید.

این فرآیند، لازم است که خلبان با زدن کلید Enter مقادیر اعمال شده را ثبت نماید. لازم به ذکر است که در شبیه‌ساز، محدوده فرکانسی NAV1 و NAV2 از ۱۰۸/۰۰۰ تا ۱۱۷/۹۵۰ هرتز با نمو ۰/۰۵۰ و محدوده فرکانسی COM1 و COM2 از ۱۱۸/۰۰۰ تا ۱۳۵/۹۷۵ هرتز با نمو ۰/۰۲۵ می‌باشد. با انجام یک سری عملیات جبری مرحله به مرحله می‌توان نشان داد که در چنین ساختاری، میانگین تعداد کلیک لازم جهت تنظیم فرکانس عدد ۱۴/۶۳ است. پس $K_{CF}=14.63$ (اندیس F برای فرکانس) و داریم:

$$h_{CF} = \log_2 14.63 = 3.84 \text{ bits}$$

از جمع اعداد حاصل شده برای و، اکنون می‌توان مقدار h_C را بدست آورد:

فرمول ۱۴.

$$h_C = h_{CR} + h_{CF} = 2 + 3.84 = 5.84 \text{ bits}$$

لازم به ذکر است در زیرسیستم برقراری ارتباط Δt_C ، یعنی فاصله زمانی میانگین بین اعلام پیام‌های صوتی، با توجه به مقاصد طراح و نرخ تبادل داده‌ای که در نظر دارد تعیین می‌شود.

تست اعتبارسنجی

در این مرحله هدف آن است که با طراحی تست‌های عملی در محیط سیمولاتور، امکان مقایسه بار کاری ادراک شده توسط انسان با پیش‌بینی بدست آمده از تئوری اطلاعات فراهم گردد. بدین ترتیب به این سؤال پاسخ داده خواهد شد که آیا درجات مختلف بار کاری ایجاد شده در شبیه‌ساز بر پایه تئوری اطلاعات، به اختلاف معنادار در نمره بار کاری کلی اختصاص داده شده توسط سوژه‌ها به این سطوح منجر خواهد شد یا خیر. سیزده نفر از دانشجویان پسر دانشکده مهندسی هوافضای دانشگاه صنعتی امیرکبیر با میانگین سن 26.09 ± 3.25 برای انجام تست‌ها به صورت داوطلبانه اظهار آمادگی کردند که پس از تکمیل فرم موافقت با شرکت در آزمون توسط آن‌ها،

جدول ۱: فاصله زمانی بین تحریک‌ها برای زیرسیستم‌های مختلف شبیه‌ساز در تست‌های ارزیابی نهایی					
سطح بار کاری	Δt_r , (S)	ΔT_s , (S)	ΔT_L , (S)	ΔT_R , (S)	ΔT_C , (S)
۱					
کم	۶	۴۱	۳۸	۱۲	۶۲
متوسط	۳/۲	۲۲	۱۹	۱۲	۳۲
زیاد	۲/۲	۶	۱۰	۱۲	۱۷
۲					
کم	۶	۳۸	۴۱	۱۲	۶۲
متوسط	۳/۲	۱۷	۱۹	۱۲	۲۹
زیاد	۲/۲	۵	۱۱	۱۲	۱۷
۳					
کم	۶	۵۵	۴۵	۱۲	۶۵
متوسط	۳/۲	۱۰	۱۵	۱۲	۲۰
زیاد	۲/۲	۵	۱۰	۱۲	۱۵

جدول ۲: نرخ تبادل داده زیرسیستم‌های مختلف شبیه‌ساز در تست‌های ارزیابی نهایی

سطح بارکاری	B_T , (bit/s)	B_S , (bit/s)	B_L , (bit/s)	B_R , (bit/s)	B_C , (bit/s)	B_{Total} , (bit/s)
۱						
کم	۰/۲۶۴	۰/۰۴۹	۰/۰۲۶	۰/۰۸۳	۰/۰۹۵	۰/۵۱۷
متوسط	۰/۵۰۰	۰/۰۹۱	۰/۰۵۳	۰/۰۸۳	۰/۱۸۴	۰/۹۱۱
زیاد	۰/۷۲۵	۰/۳۲۳	۰/۱۰۰	۰/۰۸۳	۰/۳۴۵	۱/۵۸۷
۲						
کم	۰/۲۶۴	۰/۰۵۳	۰/۰۲۴	۰/۰۸۳	۰/۰۹۵	۰/۵۱۹
متوسط	۰/۵۰۰	۰/۱۱۸	۰/۰۵۳	۰/۰۸۳	۰/۲۰۲	۰/۹۵۶
زیاد	۰/۷۲۵	۰/۴۰۰	۰/۰۹۱	۰/۰۸۳	۰/۳۴۵	۱/۶۴۴
۳						
کم	۰/۲۶۴	۰/۰۳۶	۰/۰۲۲	۰/۰۸۳	۰/۰۹۰	۰/۴۹۶
متوسط	۰/۵۰۰	۰/۲۰۰	۰/۰۶۷	۰/۰۸۳	۰/۲۹۴	۱/۱۴۴
زیاد	۰/۷۲۵	۰/۴۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۸۳	۰/۳۹۱	۱/۶۹۹

جدول ۳: میانگین و انحراف معیار زیرمقیاس‌های مختلف پرسشنامه در ارزیابی انجام شده توسط سوژه‌ها

نیازمندی ذهنی	سطح بارکاری		
	کم	متوسط	زیاد
نیازمندی ذهنی	۳۰/۳۶ ± ۱۶/۲۰	۴۵/۳۶ ± ۲۰/۵۵	۶۰/۲۱ ± ۲۳/۳۲
نیازمندی فیزیکی	۳۰/۶۹ ± ۱۵/۱۰	۴۶/۶۷ ± ۲۰/۷۰	۶۲/۹۷ ± ۲۲/۴۲
فشار زمانی	۲۹/۶۹ ± ۱۶/۵۱	۴۶/۷۹ ± ۱۹/۶۸	۶۳/۶۴ ± ۲۲/۴۵
عملکرد	۲۸/۳۳ ± ۲۴/۲۳	۳۴/۹۰ ± ۱۹/۳۰	۴۸/۵۹ ± ۱۹/۸۸
تلاش	۳۰/۰۸ ± ۱۶/۷۰	۴۸/۲۶ ± ۱۹/۲۲	۶۳/۵۱ ± ۲۰/۳۳
احساس ناکامی	۲۹/۸۵ ± ۱۸/۱۶	۴۲/۷۲ ± ۱۹/۸۷	۵۸/۴۹ ± ۲۳/۶۲
بارکاری کل	۲۹/۸۳ ± ۱۴/۵۲	۴۴/۱۲ ± ۱۶/۷۹	۵۹/۵۷ ± ۱۸/۹۴

پس از به پایان رسیدن تمامی آزمون‌های مرحله ارزیابی برای همه شرکت‌کنندگان، جهت تجزیه و تحلیل آماری اطلاعات بدست آمده از تست‌ها، نسخه ۲۳ از نرم‌افزار SPSS به خدمت گرفته شد [۲۰].

یافته‌ها

جدول ۳ اطلاعات توصیفی زیرمقیاس‌های مختلف پرسشنامه را در ارزیابی انجام شده توسط سوژه‌ها، برای سه سطح بارکاری در تست‌های ارزیابی نهایی نشان می‌دهد. اکنون با در نظر گرفتن سطح خطای $\alpha = 0/05$ ، فرض وجود اختلاف معنادار بین میانگین نمرات بارکاری کل در سه رده تعریف شده برای بارکاری را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

خروجی بدست آمده از آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) رد شدن فرض صفر را نشان داده و از آن این‌گونه استنباط می‌شود که متغیر وابسته بارکاری کل، برای سطوح مختلف بارکاری به عنوان متغیر مستقل، توزیع نرمال ندارد ($P < 0/001$)؛ لذا در آنالیز خود باید از روش ناپارامتریک متناسب با مسئله مورد بررسی که همان آزمون کروسکال-والیس (Kruskal-Wallis) است بهره ببریم. نتیجه حاصل شده از اجرای آزمون کروسکال-والیس، از معنادار شدن آزمون و وجود اختلاف غیر قابل صرفنظر بین میانگین نمره کلی بارکاری سه گروه حکایت دارد ($P < 0/001$). در این شرایط، نتایج مقایسه دو به دو گروه‌های سه‌گانه از طریق آزمون تعقیبی (post-hoc) دان-بونفرونی (Dunn-Bonferroni) در جدول ۴ خلاصه شده است.

جدول ۴: مقایسه دو به دوی میانگین نمره بارکاری کل برای سه سطح بارکاری					
سطوح بارکاری	آماره آزمون	خطای استاندارد	آماره آزمون استاندارد	P	P تعدیل شده
کم-متوسط	-۲۴/۶۳	۷/۶۸	-۳/۲۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
متوسط-زیاد	-۲۵/۱۷	۷/۶۸	-۳/۲۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
کم-زیاد	-۴۹/۸۰	۷/۶۸	-۶/۴۸	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱

بحث

ملاک کمی واحد را جهت تخمین بارکاری کلی ارائه می‌دهد. به منظور بررسی اعتبار شاخص استخراج شده، سه تست طراحی گردید که در آن‌ها سطوح مختلف بارکاری شامل کم، متوسط و زیاد بر مبنای نرخ تبادل داده بکار رفته در هر یک برچسب زده شد. این تست‌ها توسط سوژه‌های انسانی در جایگاه خلبان در شبیه ساز اجرا گردید و در خلال آن‌ها، نظر شخصی هر فرد پیرامون بارکاری ادراک شده توسط او به وسیله پرسشنامه ناسا-تی‌ال‌ایکس ثبت شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که میانگین نمره اختصاص داده شده از سوی سوژه‌ها به بارکاری کلی، در سه سطح تعریف شده دارای اختلاف معنادار آماری می‌باشد؛ از اینرو می‌توان گفت که معیار عددی مطرح شده در تعیین میزان بارکاری موجود در شبیه‌ساز از دقت کافی برخوردار است.

با توجه به جدول ۴ اینطور نتیجه‌گیری می‌شود که اختلاف میانگین نمره بارکاری کل در میان درجات مختلف بارکاری معنادار و چشمگیر می‌باشد؛ به صورتی که این مقدار از سطح کم به متوسط و از متوسط به زیاد، افزایش قابل توجهی را از خود بروز می‌دهد. چنین روندی با پیش‌بینی انجام شده توسط تئوری اطلاعات که بر مبنای محاسبه نرخ تبادل داده کلی مربوط به هر سطح از بارکاری حاصل شد، در هماهنگی کامل است. بدین ترتیب چنانچه ارزیابی شخصی بدست آمده از پرسشنامه را ملاک قضاوت خود قرار دهیم، می‌توان بیان داشت که تئوری اطلاعات در تفکیک صحیح سطوح مختلف دشواری وظایف موجود در شبیه‌ساز، قبل از اجرای تست‌ها توسط سوژه‌ها، موفق عمل کرده است.

نتیجه‌گیری

نویسندگان مقاله مراتب سپاسگزاری خود را از تیم طراحی شبیه ساز عملکرد چند وظیفه‌ای خلبان در سازمان ناسا، به خصوص سرکار خانم Yamira Santiago-Espada به دلیل مساعدت انجام شده در فراهم نمودن این نرم‌افزار برای تیم تحقیق، ابراز می‌دارند.

در این مقاله روشی عینی جهت ارزیابی بارکاری موجود در شبیه ساز عملکرد چند وظیفه‌ای خلبان MATB-II ایجاد گردید. تکنیک پیشنهاد شده با بهره‌گیری از تئوری اطلاعات، نرخ تبادل داده تولید شده در زیرسیستم‌های مختلف سیمولاتور را محاسبه نموده و با برآیند گرفتن از آن‌ها، یک

REFERENCES

- Santiago-Espada Y, Myer RR, Latorella KA, Comstock Jr JR. The Multi-Attribute Task Battery II (MATB-II) Software for Human Performance and Workload Research: A User's Guide. Virginia: National Aeronautics and Space Administration (NASA), Langley Research Center; 2011.
- Christensen JC, Estep JR, Wilson GF, Russell CA. The effects of day-to-day variability of physiological data on operator functional state classification. *Neuroimage*. 2012;59(1):57-63. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.07.091 PMID: 21840403
- Wang Z, Hope RM, Wang Z, Ji Q, Gray WD. Cross-subject workload classification with a hierarchical Bayes model. *Neuroimage*. 2012;59(1):64-9. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2011.07.094 PMID: 21867763
- Carlozzi NE, Horner MD, Kose S, Yamanaka K, Mishory A, Mu Q, et al. Personality and reaction time after sleep deprivation. *Cur Psychol*. 2010;29(1):24-33. DOI: 10.1007/s12144-009-9068-8
- Bliss JP, Fallon CK, Nica N. The role of alarm signal duration as a cue for alarm validity. *Appl Ergon*. 2007;38(2):191-9. DOI: 10.1016/j.apergo.2006.03.004 PMID: 16740247
- Operator Functional State Assessment. RTO Technical Report. North Atlantic: North Atlantic Treaty Organization, 2004.
- Hart SG, editor NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting; 2006: Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA.
- Zakerian SA, Abbasinia M, Mohammadian F, Fathi A, Rahmani A, Ahmadnezhad I, et al. The relationship between workload and Quality of Life among hospital staffs. *J Ergonomic*. 2013;1(1):43-56.
- Zamanian Z, Roshan Sarvestani M, Sedaghati M, Ghatmiri M, Kouhnavard B. Assessment of the Relation between Subjective Workload and Job Satisfaction in University Faculty and Staff. *J Erg*. 2016;3(4):1-10.
- Cinaz B, Arnrich B, La Marca R, Tröster G. Monitoring of mental workload levels during an everyday life office-work scenario. *Pers Ubiquitous Comput*. 2013;17(2):229-39. DOI: 10.1007/s00779-011-0466-1
- DiDomenico AT. An investigation on subjective assessments of workload and postural stability under conditions of joint mental and physical demands. Virginia Virginia Polytechnic Institute and State University; 2003.
- Shannon CE. A mathematical theory of communication. *ACM Sigmob Mob Comp Commun Rev*. 2001;5(1):3-55.
- Bishop CM. Pattern Recognition and Machine Learning. 1st ed. New York: Springer; 2006.
- Hick WE. On the rate of gain of information. *QJ Experiment Psychol*. 1952;4(1):11-26. DOI: 10.1080/17470215208416600
- Hyman R. Stimulus information as a determinant of reaction time. *J*

- Exp Psychol. 1953;45(3):188-96. [PMID: 13052851](#)
16. Fitts PM. The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. J Exp Psychol. 1954;47(6):381-91. [PMID: 13174710](#)
 17. Phillips CA, Repperger DW, Kinsler R, Bharwani G, Kender D. A quantitative model of the human-machine interaction and multi-task performance: a strategy function and the unity model paradigm. Comput Biol Med. 2007;37(9):1259-71. [DOI: 10.1016/j.compbiomed.2006.12.007](#) [PMID: 17316596](#)
 18. Walters CM. Application of the human-machine interaction model to Multiple Attribute Task Battery (MATB): Task component interaction and the strategy paradigm. USA: Wright State University; 2012.
 19. Camden AN. Theoretical Throughput Capacity: Capabilities of Human Information Processing during Multitasking. USA: Wright State University; 2015.
 20. Field A. Discovering statistics using IBM SPSS statistics. 4th ed. London: SAGE Publications Ltd; 2013.

Creating a Numerical Index for Measurement of Workload Levels in the Simulator of Piloting Tasks

Mohammad Reza Mortazavi ¹, Kamran Raissi ^{2,*}, Seyed Hamed Hashemi ³

¹ PhD Student, Department of Aerospace Engineering, Amirkabir University of Technology and Aerospace Research Institute, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Department of Aerospace Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Aerospace Research Institute, Tehran, Iran

* Corresponding author: Kamran Raissi, Assistant Professor, Department of Aerospace Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: k_raissi@aut.ac.ir

DOI: 10.21859/joe-04044

Received: 08/04/2016

Accepted: 15/01/2017

Keywords:

Multi Attribute Task Battery
Human-Machine Interaction
Workload
Information Theory
Baud Rate

How to Cite this Article:

Mortazavi MR, Raissi K, Hashemi SH. Creating a Numerical Index for Measurement of Workload Levels in the Simulator of Piloting Tasks. *J Ergo.* 2017;4(4):x. DOI: 10.21859/joe-04044

© 2017 Hamedan University of Medical Sciences.

Abstract

Introduction: Pilot performance investigation during multi-tasking operations requires a procedure, in which the parameters related to the desired scenario of the simulator are obtained in a systematic manner. The multi-attribute task battery (MATB-II) is a standard simulator of generic piloting tasks developed by national aeronautics and space administration (NASA).

Methods: Employing information theory concepts, baud rate generated in all subsystems of the MATB-II were calculated and then, a unique numerical index presenting an estimation of overall workload was extracted. In the next step, three tests with different levels of workload were conducted to examine the validity of the offered criteria. These tests were performed by a group of subjects on the role of human pilots, while recording their own experiences about perceived workload via NASA-TLX.

Results: The results confirmed that there were significant differences between averages of scores assigned by subjects to the total workload, for three levels of difficulty defined based on information theory (P-value < 0.001). This variable shows considerable growth from low to medium and from medium to high categories of workload level.

Conclusions: The proposed quantitative index is effective enough for determination of workload levels in the MATB-II simulator.