

بنام خدا

گزارش تمرین علوم اعصاب بینایی

(دکتر ابراهیم پور)

آرشام لؤلؤهری

۹۹۱۰۲۱۵۶

مقدمه

آزمایش حرکت نقاط تصادفی (RDM) یکی از آزمایش‌های شناخته‌شده و مطرح در زمینه علوم اعصاب بینایی می‌باشد که از طریق آن میتوان داده‌های رفتاری شخص را ارزیابی کرد. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده در حوزه **Perceptual Decision-making**، مدل‌هایی برای فرایند تصمیم‌گیری در مغز ارائه شده است که از معروفترین آنها میتوان مدل DDM را نام برد. پارامترهای این مدل از طریق داده‌های رفتاری شرکت کنندگان قابل تنظیم است و میتواند اطلاعاتی در مورد سرعت دریافت **evidence** و آستانه تصمیم‌گیری و نیز مدت زمان عکس العمل شخص، با صرف نظر از بازه تصمیم‌گیری (**Non-decision Time**) به ما بدهد.

در این تمرین از افراد سالم و بدون نقص در سیستم بینایی یا ادراکی داده‌گیری انجام شده، سرعت پاسخ‌دهی (RT) و دقت آنها (**Accuracy**) برحسب قدرت محرک و نیز برحسب فازهای مختلف داده‌گیری اندازه‌گیری شده و نشان داده شده است که سرعت پاسخ‌دهی در فازهای انتهایی، و نیز در محرک‌هایی با قدرت بیشتر، کمتر می‌باشد. عکس این روند برای دقت مشاهده شده است. سپس پارامترهای **Decision** و **Drift Rate** و **Bound** و **Non-decision Time** از مدل DDM در فازهای مختلف ارزیابی شده اند و افزایش پارامتر اول و کاهش پارامترهای دوم و سوم گزارش میشود. در انتها یک مدل **Wang** به فازهای اول و سوم داده‌های رفتاری فیت میشود و تفسیری از تفاوت پارامترهای این مدل در دو فاز مذکور ارائه میشود.

(کد اصلی پردازش در فایل **Process.m** قرار دارد. کد مربوط به محاسبه تابع هزینه در فایل **CalCost.m** قرار دارد. کدهای داده شده نیز در حد مورد نیاز اصلاح شده و در پوشه‌های مربوطه قرار گرفته اند.)

بخش اول: محرک‌های RDM

تحریک RDM مورد استفاده به تعداد برابری از قدرت‌های $[3.2, 6.4, 12.8, 25.6]$ (برحسب **%Coherence**) را شامل میشود.

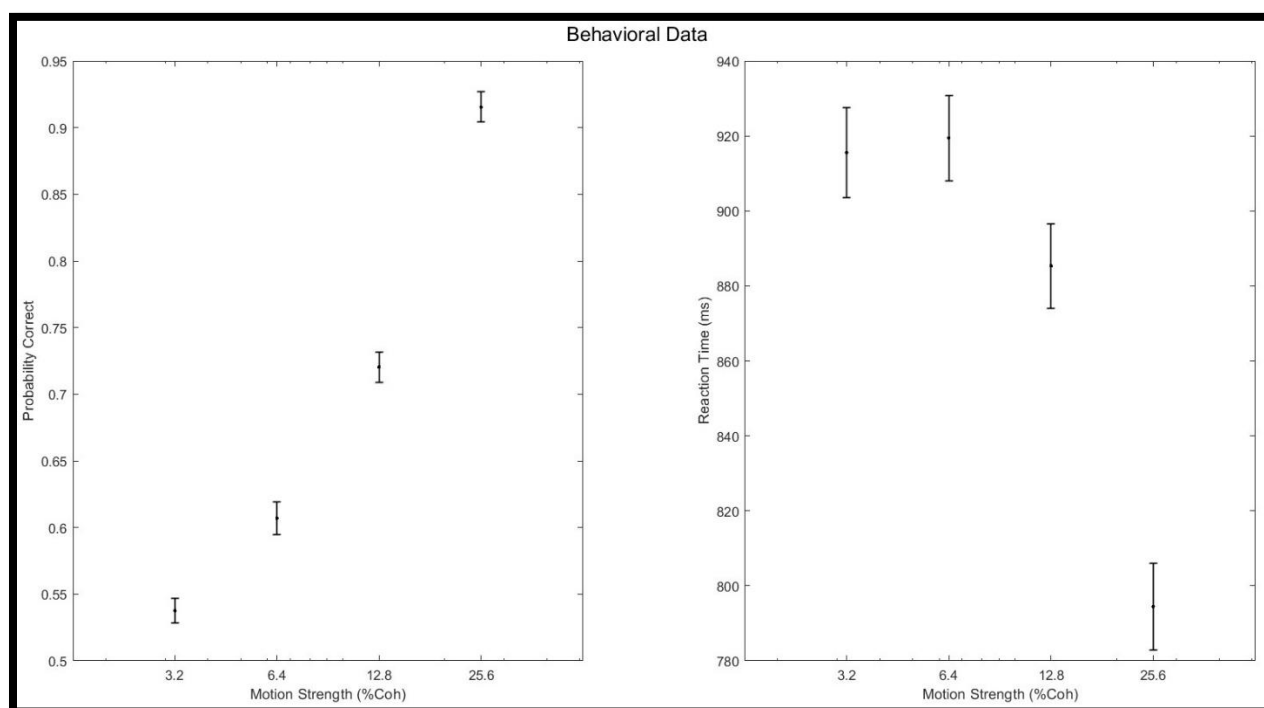
داده‌گیری از چهار نفر انجام شد اما نتایج داده دو نفر با مشکلاتی همراه بود (از قبیل آشنایی پیشین با Task و فاصله زیاد یک ساعته در داده‌گیری بین بلوک‌های متوالی). بنابراین تنها نتایج دو داده منطقی‌تر در زیر ارائه خواهد شد. از هر شخص ۸ بلوک داده گرفته شد که هر بلوک شامل ۲۰۰ مرحله (Trial) بود. قدرت‌های محرک بطور تصادفی در این ۲۰۰ مرحله چیده میشوند و فاصله (استراحت) حدودی بین داده‌گیری در بلوک‌های

متوالی، حدود ۵-۱۰ دقیقه بود. در هر مرحله (Trial)، تحریک حداکثر به مدت ۱.۵ ثانیه پخش میشود؛ مگر آنکه شخص قبل از آن پاسخ خود را ثبت کند.

(بدلیل سختی آزمایش برای شرکت کنندگان در حد پاسخ‌دهی کاملاً رندوم، مطابق مشورت با TA های محترم، مدت زمان تحریک به ۱.۵ ثانیه افزایش داده شد).

بخش دوم: نمودارهای سایکومتريک و کرنومتريک

نمودار میانگین زمان پاسخ‌دهی (RT) و نیز میانگین دقت عمل (Accuracy) مربوط به کل بلوکهای داده‌گیری از هر دو شخص، برحسب قدرت محرک پخش شده، در زیر آمده است:

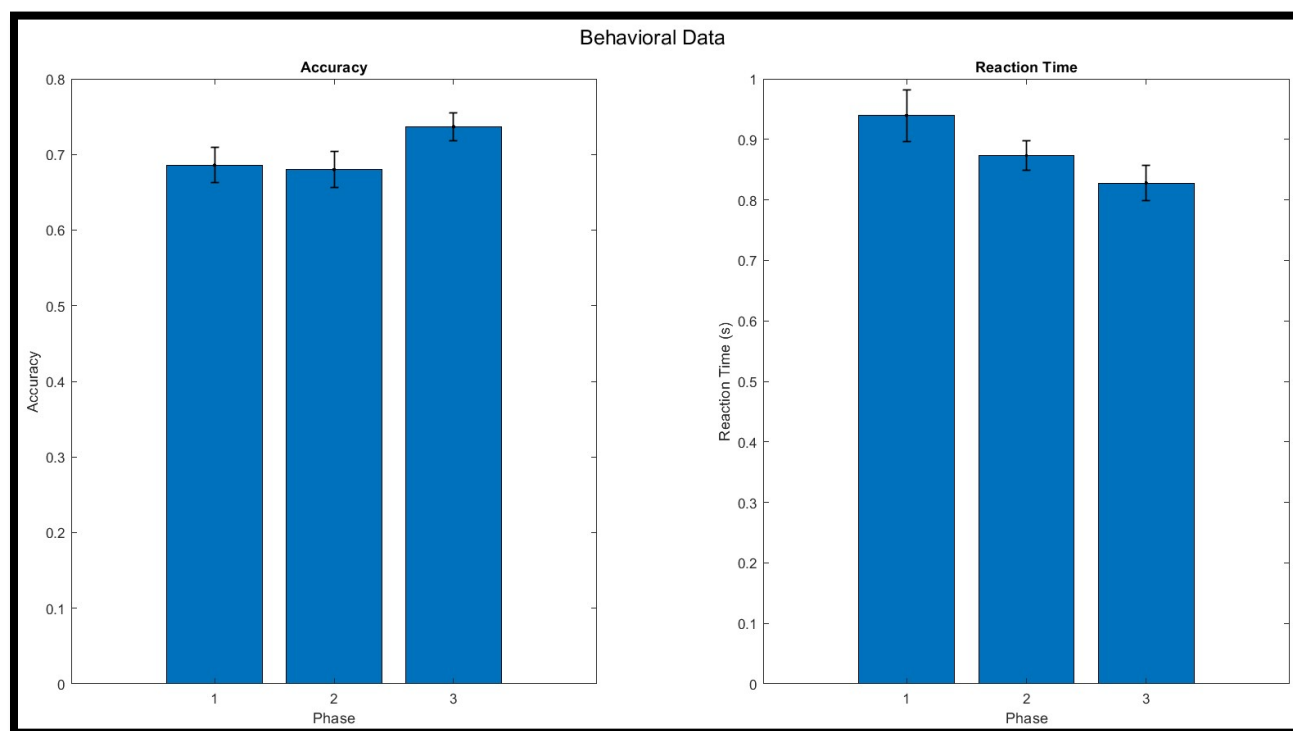


هرچه قدرت محرک بیشتر باشد، انتظار میرود دقت شخص بالاتر باشد زیرا درصد کمتری از نقاط در هر زمان حرکت نویزی داشته و در سمت خلاف نقاط اصلی حرکت میکنند. ضمناً هرچه قدرت محرک بیشتر باشد، در هر زمان تعداد نقاط مفیدی (Evidence هایی) که دریافت میکند بیشتر است. در نتیجه زودتر میتواند به آستانه

تصمیم‌گیری برسد و RT کاهش خواهد یافت. هردوی این روندها در بالا قابل مشاهده است و بنابراین، نتایج بالا با انتظارات ما سازگاری دارد.

بخش سوم: تفکیک داده‌ها به سه فاز و بررسی داده‌های رفتاری

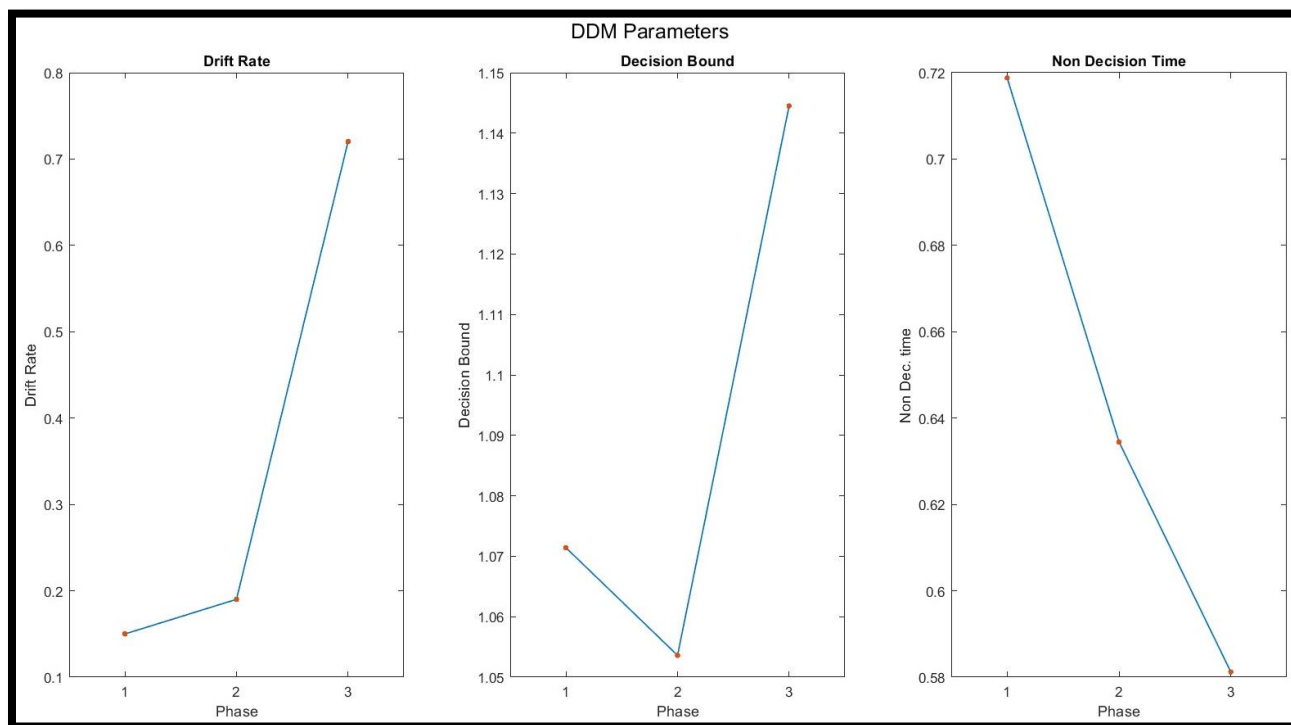
در این بخش داده‌های مربوط به بلوک اول و دوم از هر شخص در فاز ۱، بلوک سوم تا ششم در فاز ۲، و بلوک هفتم و هشتم در فاز ۳ قرار میگیرند. اینبار بجای میانگین گیری جامع، از داده‌های مربوط به هر فاز بطور جداگانه میانگین گرفته میشود و مجددا نمودارهای زمان واکنش و دقت رسم میشوند:



مشاهده میشود که با پیشروی در فازهای داده‌گیری، دقت افراد افزایش و زمان واکنش آنها کاهش می‌یابد. این دو نمودار در واقع اثرات یادگیری (Learning) در آزمایش را نشان میدهند. در گذر زمان و با پیشروی در فازها، شخص به تدریج با روند آزمایش، نحوه حرکت نقاط RDM، و شیوه‌های پاسخ دهی برای رسیدن به جواب صحیح، آشنایی بیشتری پیدا میکند. بعلاوه، پس از اتمام هر مرحله (Trial)، فیدبک صوتی به شخص اعلام میکند که پاسخ وی صحیح بوده است یا خیر. شخص به تدریج از تمام این موارد استفاده کرده، آزمایش را یاد میگیرد و پاسخ‌های خود را طوری با تحریک نمایش داده شده تنظیم میکند که در کمترین زمان ممکن، صحیح‌ترین پاسخ‌ها را ثبت کند.

بخش چهارم: فیت کردن DDM

در این بخش تمام داده‌های درست یا غلطی پاسخ‌ها و نیز زمان واکنش مربوط به هر trial، در سه فاز ۱ و ۲ و ۳ ذخیره شده و به روش fast-dm، پارامترهای مدل DDM برای هریک از سه فاز استخراج شد. بطور خاص تمرکز روی پارامترهای Drift Rate و Decision Bound و Non-decision Time بوده که روند تغییرات آنها در زیر آمده است:



پارامتر Drift Rate سرعت افزایش Evidence تا رسیدن به تصمیم نهایی توسط شخص را نشان می‌دهد. با پیشروی در فاز و کسب تجربه بیشتر و یادگیری، انتظار می‌رود این پارامتر افزایش یابد؛ زیرا شخص با روند آزمایش آشنا شده و بهتر می‌تواند از سیگنال‌های اصلی (غیر نویزی) دریافت شده استفاده کند و خود را به آستانه تصمیم‌گیری نزدیک کند. اتفاقی که در بالا نیز مشاهده می‌شود.

پارامتر Decision Bound آستانه تصمیم‌گیری، یا همان مقدار Evidence مورد نیاز برای اخذ تصمیم می‌باشد. در واقع Evidence ها به نفع یکی از دو جهت چپ یا راست تجمیع می‌شوند و هرگاه به این آستانه

برسند، تصمیم اخذ میشود. با یادگیری و Learning رخ داده در فازهای بالاتر، شخص کمتر به تصمیم خود شک دارد؛ و به خود اجازه میدهد با دریافت مقادیر کمتری از Evidence ها، تصمیم قطعی را گرفته و اعلام کند. در واقع شخص با آزمایش آشناست و نیاز کمتری به صبر دارد تا مقادیر بیشتری از Evidence را دریافت کند. در نتیجه انتظار می‌رود Decision Bound کاهش یابد. در شکل بالا، در دو فاز اول این روند تایید شده است. روند خلاف انتظار فاز سوم میتواند بدلیل جامعه آماری کم و تعداد trial های محدود رخ داده باشد.

پارامتر Non-Decision Time مدت زمانی را نشان میدهد که شخص اجازه ثبت تصمیم دارد، اما در حال تصمیم‌گیری نیست. این زمان، بازه پردازش بینایی سطح پایین (قبل از رسیدن اطلاعات به نواحی Evidence Accumulation مثل LIP) و نیز بازه عکس‌العمل حرکتی شخص (بازه انتقال اطلاعات به نواحی Motor Cortex، پس از اخذ تصمیم و پیش از فشردن کلید) را شامل میشود. در فازهای بالاتر آزمایش، شخص با آزمایش آشناست و میداند قرار است چه تحریک‌هایی (RDM) در صفحه نمایش ظاهر شوند و حدود حرکت آنها را نیز میداند. در نتیجه پردازش بینایی از اطلاعات پیشین خود استفاده کرده و تسریع میشود. سرعت عمل شخص نیز با انجام چندباره آزمایش به تدریج بالا میرود و در نتیجه انتظار کاهش Non-Decision Time را داریم. اتفاقی که در بالا نیز رخ داده است.

بخش پنجم: فیت کردن مدل Wang

در ادامه مدل ونگ به داده‌های رفتاری فیت شد. این مدل، فرایند تصمیم‌گیری را با استفاده از جمعیت نورونهای تحریکی و مهارتی (Inhibitory and Excitatory) شبیه‌سازی میکند. با تزریق ورودی به نورونهای تحریکی، به تدریج Evidence accumulation رخ میدهد تا زمانیکه این Evidence ها به یک آستانه تصمیم‌گیری برسند و منجر به اخذ تصمیم شوند. نرخ دریافت ورودی توسط نورونهای تحریکی با پارامتر μ_0 تعیین میشود و آستانه تصمیم‌گیری نیز threshold یا به اختصار thr میباشد. در واقع پارامترهای μ_0 و thr شباهت زیادی به پارامترهای Drift rate و Decision bound در مدل DDM دارند؛ با این تفاوت که در مدل ونگ، دینامیک رفتار نورونها نیز لحاظ شده و شباهت بیولوژیک بیشتری به عملکرد مغز دارد.

با این توضیح، انتظار می‌رود در اثر learning و آشنایی تدریجی با آزمایش توسط شرکت‌کنندگان، مشابه آنچه در DDM توضیح داده شد، مقدار μ_0 افزایش و مقدار thr کاهش یابد. زیرا شخص با آزمایش آشناست و سریعتر میتواند به جمع‌آوری Evidence پردازد و از طرفی با Evidence کمتری میتواند تصمیم قطعی خود را اخذ کند.

در شبیه‌سازی این بخش، یک تابع هزینه (Cost Function) تعریف شده که تفاوت های مدل و نگ را با داده های رفتاری میسنجد. این تابع هزینه شامل دو مورد زیر است:

۱. تفاوت در میانگین Accuracy
۲. تفاوت در میانگین RT
۳. تفاوت در هیستوگرام RT های کل

تابع هزینه با استفاده از ۳ معیار بالا (در فایل CalCost.m) محاسبه میشود. بطور خلاصه، این سه معیار در کد زیر محاسبه شده اند:

```
RT_cost = (behav_mean_RT - model_mean_RT)^2;
acc_cost = (behav_mean_acc - model_mean_acc)^2;

%***** RT Histogram
edges = 0:0.05:2;

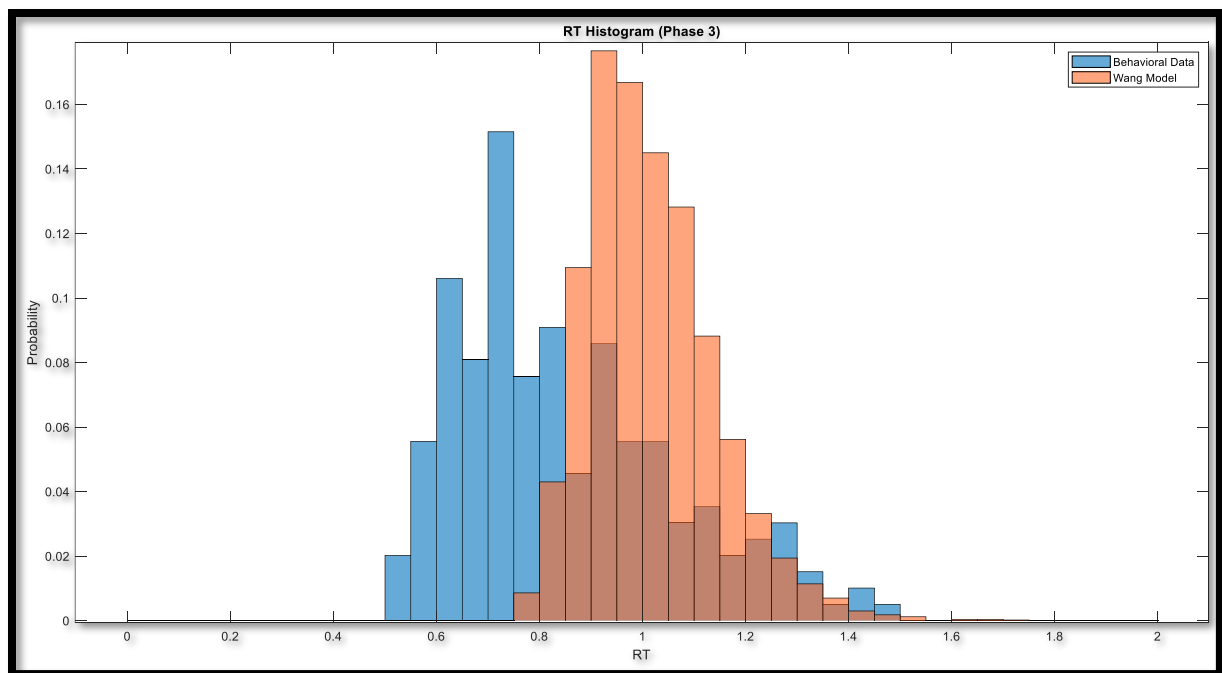
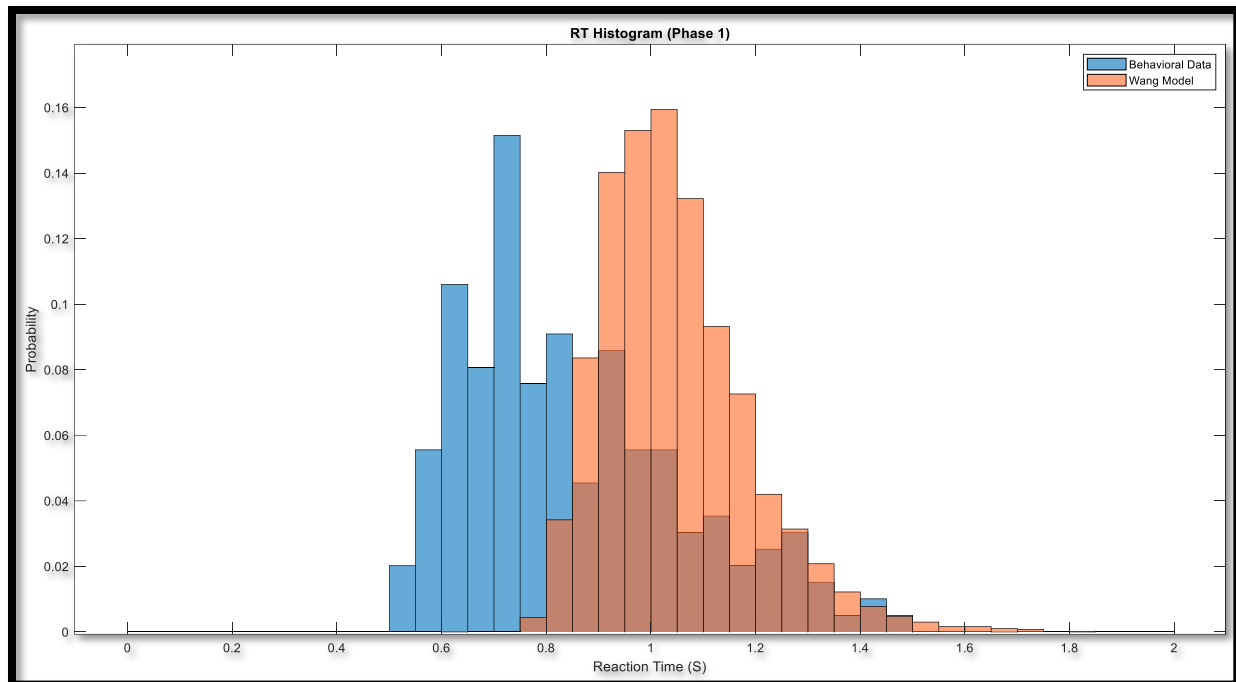
behav_hist = histogram(printMat(:,2), edges, 'Normalization', 'probability' );
behav_vals = behav_hist.Values;
model_hist = histogram(C1(:,1), edges, 'Normalization', 'probability' );
model_vals = model_hist.Values;

hist_cost = sum((behav_vals - model_vals).^2);
cost = 200*acc_cost + 2*RT_cost + 15*hist_cost;
```

ضرایب هریک از سه معیار بطور دستی و به گونه‌ای تنظیم شد که هر سه هزینه مقدار کم و معقولی داشته باشند.

از تابع `fminsearch` در متلب استفاده شد تا با تعریف پارامترهای آزاد μ_0 و thr ، کمینه تابع هزینه در فازهای ۱ و ۳ پیدا شود. مقادیر اولیه μ_0 و thr نیز بطور دستی و در حدود مقادیری داده شد که هزینه بیش از حد و بسیار بزرگی نداشته باشد.

هیستوگرام های نهایی RT مربوط به فازهای ۱ و ۳، به ترتیب در زیر آمده است (آبی: هیستوگرام داده های رفتاری – قرمز: هیستوگرام داده های مدل و نگ):



مشاهده میشود اختلاف هیستوگرام ها کم و مناسب است.

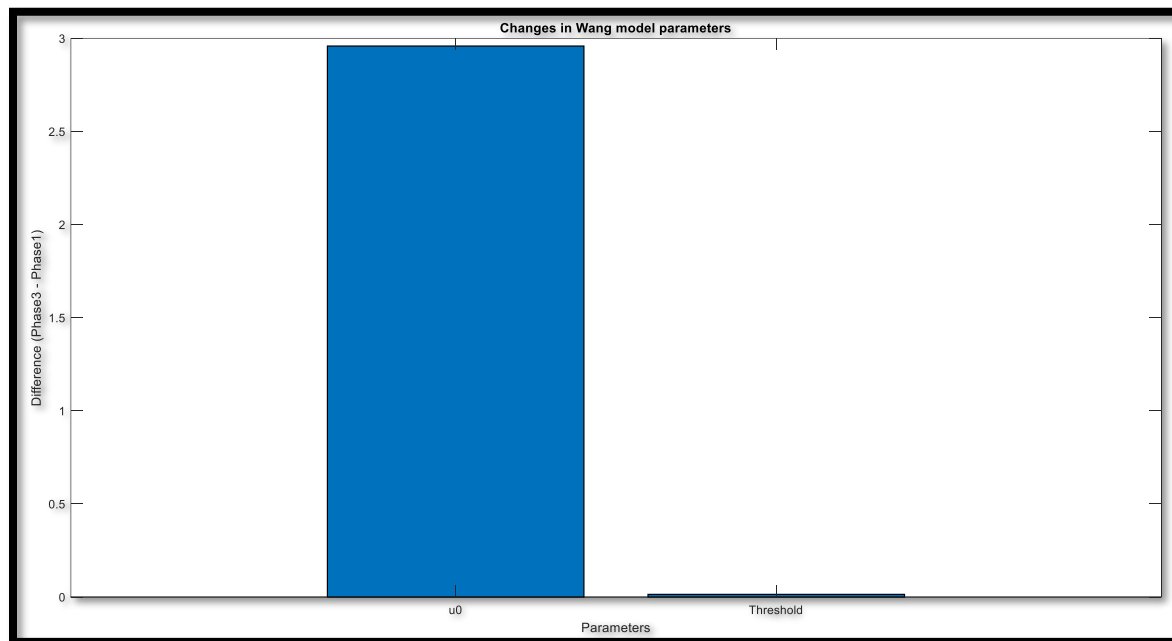
در فاز ۱، Accuracy بدست آمده در داده های رفتاری و در مدل ونگ، به ترتیب حدود ۶۹ و ۷۵ درصد بوده و در فاز ۳، این مقادیر به ترتیب حدود ۷۴ و ۷۹ درصد بوده است که تفاوت آنها معقول و کم میباشد.

در نهایت با پیدا کردن کمینه هزینه در فاز ۱ و ۳، مقادیر بهینه μ_0 و thr به صورت زیر بدست آمد:

```
Phase 1: mu0 = 1.050000e+01 & thr = 1.700000e-01 --> min cost: 1.350000e+00>>
```

```
Phase 3: mu0 = 1.346000e+01 & thr = 1.800000e-01 --> min cost: 1.920000e+00>>
```

نمودار تغییرات آنها (Phase3 – Phase1) به شکل زیر میباشد:



پارامتر μ_0 مطابق انتظار در فاز ۳ افزایش یافته است (طبق توضیحات بالا). پارامتر Threshold نیز افزایشی بسیار جزئی داشته است. با وجود اینکه انتظار کاهش در مقدار پارامتر Threshold را داشتیم، اما بنظر می آید که افزایش آن معنادار نبوده (فقط حدود ۵ درصد افزایش داشته است) و در واقع مدل با افزایش u_0 توانسته به خوبی خود را با داده های رفتاری در فاز ۳ فیت کند.

در نتیجه تغییرات پارامترهای مدل، تا حد خوبی با انتظارات ما مطابقت داشته اند.