



مغز انسان اندام بسیار مهمی است که پیوسته به دنبال بهینه‌سازی جنبه‌های مختلف بدن از جمله هماهنگی پیچیده حرکات دست است. جهش<sup>۱</sup> مشتق زمانی شتاب است و عامل مهمی در حذف ارتعاش و دستیابی به دقت بالا است. کمینه جهش مسیر حرکت<sup>۲</sup> ( $MJT$ ) تغییرات شتاب حرکت دست انسان را از یک نقطه به نقطه دیگر به حداقل می‌رساند. افزون بر این، در حین حرکت دست، کمترین تلاش ممکن مورد نیاز است. بدین ترتیب می‌توان گفت که کمینه جهش مسیر حرکت، حرکت با دست آزاد است.

۱. تعدادی از کاربردهای عملی  $MJT$  در دنیای واقعی را بیان کنید و به اختصار توضیح دهید.
۲. روابط موقعیت - سرعت و کمینه جهش مسیر حرکت را تحت شرایط حرکت دست در راستای خط مستقیم بدست آورید.
۳. برای مدل‌سازی حرکت دست در مسیری منحنی شکل، لازم است دست انسان در حین حرکت بین حالت اولیه و نهایی از سومین نقطه از پیش تعریف شده عبور کند. هدف از این حرکت را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

برای دستیابی به نرم‌ترین حرکت منحنی شکل برای هدایت دست انسان از موقعیت اولیه به موقعیت نهایی در یک بازه زمانی مشخص، دست باید از نقطه‌ای از پیش تعریف شده در زمانی نامشخص عبور کند. در این حالت، مختصات این نقطه در دستگاه مختصات دکارتی به صورت  $(x_m, y_m)$  تعریف می‌شود. در یک زمان میانی  $t_m$  وضعیت دست انسان بصورت زیر خواهد بود:

$$x(t_m) = x_m \quad y(t_m) = y_m$$

مؤلفه موقعیت  $x(t)$  برای همه زمان‌ها قابل استفاده است به طوری که  $t \leq t_m$  باشد. در این صورت خواهیم داشت:

$$x^-(\tau) = \frac{t_f^5}{720} \left( \pi_m (\tau_m^4 (15\tau^4 - 30\tau^3) + \tau_m^3 (80\tau^3 - 30\tau^4) - 60\tau^3 \tau_m^2 + 30\tau^4 \tau_m - 6\tau^5) + c_m (15\tau^4 - 10\tau^3 - 6\tau^5) \right) + x_0$$

برای  $t \geq t_m$  رابطه زیر برقرار است:

$$x^+(\tau) = x^-(\tau) + \pi_m \frac{\tau_m^5 (\tau - \tau_m)^5}{120}$$

$$\text{که در آن } \tau = \frac{t}{t_f} \text{ و } \tau_m = \frac{t_m}{t_f}$$

مقادیر  $\pi_m$  و  $c_m$  و سرعت  $MJT$  را در امتداد محورهای  $x$  و  $y$  بدست آورید.

۴. سوالات زیر را با استفاده از نرم‌افزار متلب پاسخ دهید و کد نوشته شده را نیز بارگذاری کنید:
  - ا. با فرض حرکت دست در امتداد محور  $y$  و موقعیت اولیه  $x_0 = 0 (m)$ ،  $y_0 = 0 (m)$  و موقعیت نهایی  $x_f = 0 (m)$ ،  $y_f = 0.4 (m)$  و موقعیت میانی  $x_m = 0.1 (m)$ ،  $y_m = 0.2 (m)$  مقدار  $t_m$  را محاسبه کرده و همچنین نمودارهای موقعیت و سرعت  $MJT$  را در راستای محورهای  $x$  و  $y$  رسم کنید. (مقدار  $t$  را در بازه صفر تا ۱ و  $t_f = 1 (s)$  در نظر بگیرید.)

- ب. با فرض حرکت دست در امتداد محور  $x$  و موقعیت اولیه  $x_0 = 0 (m)$ ،  $y_0 = 0 (m)$  و موقعیت نهایی  $x_f = 0.5 (m)$ ،  $y_f = 0 (m)$  و موقعیت میانی  $x_m = 0.2 (m)$ ،  $y_m = 0.3 (m)$  مقدار  $t_m$  را محاسبه کرده و همچنین نمودارهای موقعیت و سرعت  $MJT$  را در راستای محورهای  $x$  و  $y$  رسم کنید. (مقدار  $t$  را در بازه صفر تا ۲ و  $t_f = 2 (s)$  در نظر بگیرید.)

\*\*\* لطفاً پاسخ خود را در قالب یک فایل pdf آماده کرده و به همراه فایل‌های مربوط به متلب بصورت یک فایل فشرده بر روی سامانه VC بارگذاری کنید.

<sup>۱</sup> Jerk

<sup>۲</sup> Minimum Jerk Trajectory