

# افزایش دقت ردیابی مسیر برای ربات صنعتی با کنترل تطبیقی قوی

## چکیده

در این مقاله، یک روش کنترل تطبیقی قوی (Robust adaptive) به گونه ای اصولی به منظور کاهش چشمگیر خطاهای ردیابی نسبی ربات های صنعتی شش درجه آزادی تحت اختلالات خارجی و عدم اطمینان پارامتری ارائه می شود. قانون کنترل تطبیقی قوی بر اساس دینامیک ربات در فضای کاری میچ ربات (End-effector) فرموله بندی می شود. قانون کنترل با ترکیب ترم قوی و ترم تطبیقی برای ریابی مسیر طراحی شده میچ ربات با قابلیت اطمینان و دقت مناسب در حضور اختلالات ناشناخته خارجی و عدم اطمینان پارامتری طراحی می شود. در انتها، کنترل پیشنهادی برای اجرای ردیابی مسیر بر اساس تابع لیاپانوف و باربالات لما تضمین می گردد. به علاوه، قانون انطباقی پارامتری پایدار آنلاین به منظور ارزیابی پارامترهای ناشناخته در قانون کنترل بر اساس تحریک مداوم (Persistent excitation) و برآورد باقیمانده پیشنهاد می شود. نتایج آزمایش نشان می دهد که کنترل تطبیقی قوی، خطاهای ردیابی مسیر انتهایی را در مقایسه با کنترل مرسوم به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد.

**کلید واژه ها:** ۶ روبات صنعتی DOF، فضای کاری، کنترل تطبیقی قوی، سازگاری پارامتری، خطاهای ردیابی نسبی

## ۱. مقدمه

ربات های صنعتی پایه ثابت، بازوهای رباتیک (manipulators) قابل برنامه ریزی و چند تابعی می باشند که برای جابجایی مواد، قطعات، ابزار و یا دستگاه های تخصصی از طریق حرکات برنامه ریزی شده تغییر پذیر برای انجام کارهای مختلف طراحی شده اند. ربات های صنعتی در کارهای خطرناک، یکنواخت، و یا شدید که انسان ها نمی خواهند آنها را انجام دهند، جایگزین انسان شده اند. این فعالیت ها اغلب در فضایی که تهویه ضعیف، نور ضعیف، یا گازهای مضر یا سمی وجود دارد، انجام می شوند. در آینده، ربات های صنعتی به سمت موتورهای قدرت الکتریکی و رباتهای صنعتی تحت کنترل که معمولا ماشین های کف ایستاده (floor-standing) می

باشند، تمایل می یابند [۱]. این ربات های صنعتی ثابت کرده اند مقرون به صرفه هستند. چرا که بیشترین تنوع را دارند.

به عنوان یک موضوع اساسی و ضروری برای ربات های صنعتی، کنترل ردیابی مسیر در چند سال اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. روش های مختلفی برای کنترل ریابی دقیق مسیر ربات های صنعتی ارائه شده است. کنترلرهای مشتق انتگرال تناسبی (PID) به علت ساختار ساده و طراحی کنترل آزاد مدل به منظور کنترل ردیابی حرکت ربات های صنعتی، به گونه ای وسیع مورد استفاده قرار گرفته اند [۲]. با این وجود، کنترلرهای PID باید با توجه به شرایط عملیاتی مختلف، که معمولا زمانگیر است، با دقت تنظیم شوند. در [۳] یک الگوریتم کنترل ردیابی هدف تعاونی (a cooperative target) به منظور ردیابی هدفی متحرک توسط گروهی از ربات های موبایل ارائه شده است. همچنین یک فیلتر کالمن توزیع شده (a distributed Kalman filter) برای برآورد مکان هدف طراحی شد. اثربخشی الگوریتم کنترل بر اساس شبیه سازی و نتایج تجربی مورد تایید قرار گرفت. در [۴] یک کنترلر ردیابی مسیر تطبیقی برای ردیابی حرکت ربات با پارامترهای ناشناخته و دینامیک ناپایدار طراحی شده است. کنترلر بازگشت به مرحله (back-stepping controller) با استفاده از توانایی یادگیری شبکه های عصبی که دیگر نیازی به دانستن دینامیک ربات ندارد، طراحی شده است. شبیه سازی ها و آزمایشات بر روی یک پلت فرم تجاری ربات به منظور بررسی عملکرد الگوریتم کنترل طراحی شده با کنترلر بازگشت به مرحله کلاسیک انجام شد. یک رویکرد کنترل پیش بینی مدل با استفاده از بهینه سازی عصبی-پویا (neural-dynamic) در [۵] برای ردیابی مسیر رباتیک ارائه شده است. این رویکرد کنترل پیش بینی مدل به صورت مکرر تبدیل به یک مسئله برنامه ریزی مربع محدود شد، و سپس از یک شبکه عصبی اولیه دوگانه برای حل این مسئله در یک افق نزولی محدود شده، استفاده شد. اثربخشی نحوه کنترل براساس آزمایشات انجام گرفته تایید شد. یک روش مشتق گیری تناسبی مدل آزاد (PD) با قانون کنترل مد لغزشی برای کنترل ردیابی مسیر رباتیک در [۶] آمده است. در این مقاله، قانون کنترل خاصیت کنترل خطی ساده را توسط کنترل PD و کنترل غیر خطی قوی را توسط کنترل مد لغزشی ارائه می دهد. با این حال، تنها نتایج شبیه سازی برای اثبات اثربخشی و نیرومندی قانون کنترل فراهم آمده است. در [۷] یک طرح کنترل بازگشت به مرحله تطبیقی برای ردیابی مسیر بازوهای ربات در حضور اختلالات خارجی و پارامترهای ناشناخته پیشنهاد