



# The Puzzle Solver Intelligent Robot

M. Alitavoli<sup>1</sup>, S. Basiri<sup>2</sup>, H. Mallaei<sup>3</sup>

*Mechanical Eng. Department  
Guilan University, Rasht, Iran  
tavoli @ guilan.ac.ir*

## Abstract

With a pressing need to upgrade productivity, manufacturing industries are turning more and more toward computer based flexible automation and robots..The need for more flexibility has led to a broad interest in the use of robots.The robot introduced in this paper is designed to solve numeral puzzles. Its control is totally by computer and has vision capability which leads its arm to certain places. In the control loop of the arm for identifying the top of the arm, image processing technique is used..Because of its polar movement on the plane, the design of the robot is considered an optimized one.The control orders are given to robot by a parallel port which obtains image from a camera through USB port. For numerical recognition a simple algorithm with the capability of learning new patterns is used. Noting that different condition have not been given to the robot, therefore the robot is highly considered intelligent. Some of the robot characteristics include recognizing numbers by camera, 3 degree of freedom, polar movement of the plane, locating the arm of robot with the use of camera, and capability of learning simple numerical pattern.

**Keywords:** Image processing, vision feedback, pattern recognition, adaptive control

---

<sup>1</sup> Assistant professor

<sup>2</sup> Research student

<sup>3</sup> Research student



## ربات هوشمند حل‌کننده پازل عددی (با قابلیت تعریف ماموریت های جدید)

مجید علی طاوولی<sup>۱</sup>، سالار بصیری<sup>۲</sup>، حسن ملائی<sup>۳</sup>  
دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گیلان، بخش مکانیک  
[Tavoli@guilan.ac.ir](mailto:Tavoli@guilan.ac.ir)

### چکیده

موضوع مقاله حاضر طراحی، ساخت و توضیح عملکرد ربات هوشمند حل‌کننده پازل‌های عددی در حالت تعریف شده فعلی و گسترش آن به عنوان رباتی که در خطوط کنترل کیفیت در صنایع گوناگون قابلیت عمل دارد می‌باشد. اطلاق لفظ هوشمند برای ربات به این منظور است که ماموریت ربات از اول کاملاً مشخص نمی‌باشد و ربات باید تا حدودی قابلیت وفق‌پذیری با محیط کار جدید را داشته باشد تا در برخورد با موقعیت‌های مختلف قادر به عملکرد و تصمیم‌گیری صحیح باشد. ماموریت‌هایی تعریف شده فعلی ربات حل پازل عددی ۳ در ۳ که بصورت نامرتب چیده شده، می‌باشد که نهایتاً ربات‌قادر به مرتب کردن آن خواهد بود. البته با توجه به توانایی‌های پردازش تصویر بالا می‌توان به راحتی ماموریت‌های مختلفی برای آن تعریف نمود. امروزه ربات‌ها جای خود را در تمامی صنایع جهت بالا بردن کیفیت محصول و افزایش سرعت تولید باز نموده‌اند. این امر خطوط تولید و محصولات را نیز تحت تأثیر خود قرار داده است، به طوری که طراحی و چیدمان خطوط تولید و محصولات با پیش‌فرض استفاده از سیستم‌های اتوماتیک و رباتیک انجام می‌گیرد. سیستم‌های عملکرد این ربات در سه قسمت مکانیک، الکترونیک و کامپیوتر است که در بخش‌های بعدی ارائه می‌گردد.

**واژه های کلیدی:** پردازش تصویر- فید بک تصویری- تشخیص الگو- ربات های وفق پذیر

---

۱- استادیار دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه گیلان، بخش مکانیک  
۲- دانشجوی کارشناسی مکانیک، جامدات، دانشگاه گیلان  
۳- دانشجوی کارشناسی الکترونیک، دانشگاه گیلان



## ۱- مقدمه

با توجه به نیاز روز افزون صنایع در افزایش بهره وری سیستم های تولید، اغلب صنایع رویکردی جدی به سمت سیستم های انعطاف پذیر و خودکار داشته اند. در این راستا ربات ها از جایگاه ویژه در صنایع گوناگون برخوردار شده اند [۱].

بیشترین کاربرد ربات های صنعتی یعنی ۳۵٪ از تعداد کل آنها در صنعت، در خطوط جوشکاری بدنه خودروها می باشد که تقریباً نصف این ربات ها در صنایع خودروسازی جهت عملیات جوشکاری نقطه ای به کار می روند [۲]. ۲۵٪ از ربات ها در صنایع خودروسازی جهت جابجایی مواد و ۲۰٪ از آنها جهت بارگذاری و باربرداری از دستگاه ها و ماشین ها به کار می روند. دیگر صنایع مهمی که در آنها از ربات ها استفاده می شود صنایع ریخته گری، الکترونیک، تجهیزات سنگین، پلاستیک و هوا فضا می باشند. همچنین کاربرد محدودی از ربات ها در صنایعی همچون مواد غذایی، شیمیایی و شیشه به چشم می خورد [۳، ۴].

اولین و بیشتر استفاده کننده ربات ها از سال ۱۹۶۱ تاکنون صنایع خودروسازی بوده اند. صنعت خودرو در تولید انبوه و در عملیات دسته ای از ربات ها استفاده می نماید. کارخانجات بزرگی همچون جنرال موتورز، فورد و کرایسلر اولین استفاده کنندگان از ربات ها در خط تولید خودرو در سال های ۱۹۶۰ بودند. در سال های ۱۹۷۰ تعداد ربات های نصب شده در این کارخانجات بالغ بر ۱۰۰۰ عدد بود. در حوالی سال های ۱۹۸۰ استفاده از ربات ها در این کارخانجات رو به افزایش نهاد، به طوری که تعداد آنها از ۲۲۰۰ عدد در سال ۱۹۸۰ به ۱۶۰۰۰ عدد در سال ۱۹۹۰ رسید [۵].

صنایع پیشرفته مانند صنایع دریایی و هوا فضا به طور گسترده ای از ربات ها استفاده می نمایند. کاربرد های تحقیقاتی در شناخت پدیده ها در اعماق دریاها توسط ربات های پوششگر توانایی قابل ملاحظه ای را به پژوهشگران در گسترش دانسته های خود داده است. در این راستا کارخانجات مک دونالد، لاکهید مارتین و بویینگ از معدود کارخانجاتی هستند که در صنایع هوا فضا از ربات ها استفاده می نمایند. با توجه به تعداد کم ربات ها در صنایع هوا فضا، استفاده از ربات ها محدود به کنترل فرآیندهایی همچون جاگذاری و مونتاژهای پیچیده می گردد. همچنین در عملیات سوراخ کردن ورق های آلومینیومی، جفت کردن قطعات به یکدیگر و گذاشتن قطعات در پرچ کنندگان های خودکار از ربات استفاده می شود. کارخانجات بزرگ پرات و ویتنی در سال ۱۹۸۰ از ربات ها جهت تولید پره های قوی توربین استفاده نمودند که قادر به تولید ۵۰۰۰۰ عدد پره توربین در سال بودند [۶].

از طرف دیگر توسعه نرم افزارها در زمینه رباتیک، برنامه ریزی به صورت خارج خط را میسر نموده است که خود قابلیت انعطاف پذیری خطوط تولید را بالا برده است. به عبارت دیگر هر تغییری در محصول و یا در عملیات لازم بر روی محصول بدون دو باره آموزش دادن تک تک ربات ها در کارخانه قابل اجرا می باشد. سیستم برنامه ریزی خارج خط، سیستمی



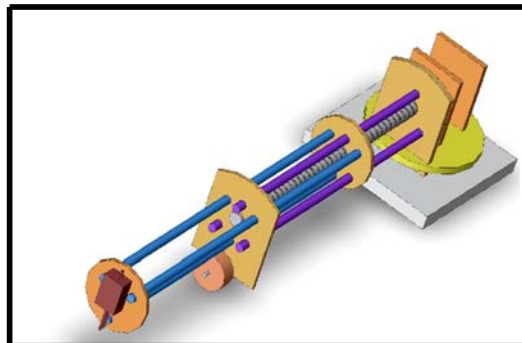
است که به وسیله گرافیک کامپیوتری تا جایی گسترش یافته است که توسط آن می‌توان برنامه‌های ربات را بدون نیاز و دسترسی به خود ربات نوشت. در سیستم برنامه‌ریزی خارج خط به هنگام برنامه‌ریزی دسترسی به عامل تولید یعنی ربات لزومی ندارد. لذا می‌توان بدون متوقف ساختن خط تولید، ربات را دوباره برنامه‌ریزی کرد و در نتیجه کارخانه‌های اتوماسیون شده را می‌توان به مدت طولانی‌تری در حال تولید نگه داشت [۷]. بنابراین در یک خط تولید انعطاف‌پذیر با استفاده از برنامه‌ریزی خارج خط ربات‌ها، نه تنها صرفه‌جویی در زمان آموزش ربات‌ها می‌گردد، بلکه کمک به تولید مستمر و پیوسته نیز می‌نماید.

## ۲- طراحی، ساخت و عملکرد ربات

ربات هوشمند حل‌کننده پازل به عنوان نخستین گام در جهت کاربرد و به کارگیری در صنایع گوناگون برای اولین بار در کشور ساخته شده است که نحوه عملکرد آن در بخش‌های زیر به صورت مشروح ارائه می‌گردد.

### ۲-۱ مکانیزم

ربات ساخته شده دارای بازویی تلسکوپی با ۳ درجه آزادی می‌باشد (شکل ۱). آدرس‌دهی هر نقطه از صفحه در مختصات قطبی صورت می‌گیرد و طراحی ربات با توجه به این روش آدرس دهی بهینه شده است. انتقال مهره‌ها (در حالت فعلی) توسط یک بازوی تلسکوپی انجام می‌گیرد. سیستم انتقال قدرت آن بصورت چرخ حلزون می‌باشد. تغییر طول بازوی ربات (R) توسط یک پیچ انتقال قدرت صورت می‌گیرد که این پیچ توسط یک DC موتور و گیربکس گرداننده می‌شود. لازم به ذکر است که تمامی پیچ و گیربکس‌ها با توجه به نیاز، طراحی شده است. چرخش بازو ( $\theta$ ) توسط یک استپر موتور که در قسمت ثابت بازو نصب شده است انجام می‌شود. برای گرفتن هر قطعه پازل مکانیزمی طراحی شده که توسط یک مغنت می‌تواند هر کدام از قطعات پازل را بگیرد. البته با تعریف ماموریت جدید نوع گیربکس نیز باید عوض شود.



شکل ۱: نمای کلی ربات

جنس قسمت‌های صلب ربات از پلکس گلاس (۰,۸) استفاده شده است که توسط میله‌های آلومینیمی به یکدیگر متصل شده اند. در زوایا برای نصب قطعات بر روی هم از نبشی آلومینیمی استفاده شده است. مبدا چرخش



بازو توسط يك قطعه پلي اتيلن سنگين مهار شده كه پايه دوربين و واحد كنترل نيز بر روي آن نصب شده است با توجه به شكل ۱ مي توان تصور بهتري از ساختارمكانيكي ربات داشت.

## ۲-۲ سيستم الكترونيك

همانگونه كه در بخش مكانيك توضيح داده شد در كل دو **DC** موتور و يك استپر موتور بايد كنترل شود.

براي پردازش تصوير و كنترل ربات از يك كامپيوتر استفاده شده است. فرمان هاي كنترلي توسط پورت چاپگر از كامپيوتر كنترل كننده صادر خواهد شد. همچنين اين كامپيوتر توسط پورت **USB** تصاوير را از يك وب كم مي گيرد و پس از پردازش آنها با توجه به الگوريتم كنترلي فرمان لازم را از طريق پورت پارالل به **Interface** مي دهد. دو كنترلر **DC** موتور قادر به چيگردي يا راستگرد كردن هر کدام از موتورهاي مي باشد. براي كترل موتور هاي مذكور از پوش پول هايي با قدرت جريان دهی بالا استفاده شده است تا ربات توانايي تحمل بار هاي پيش بينی نشده را داشته باشد.

به منظور حفاظت از قطعه ای كه ربات در حال انتقال آن است سرعت گرفتن هر کدام از قطعات پازل بايد محدود شده باشد كه اين كار توسط موج **PWM** انجام می گيرد. بنابراین سرعت بالا يا پايين رفتن گيريپر قابل كنترل مي باشد.

درايور استپر موتور قادر به كنترل استپر موتور در حالت نيم استپ نيز مي باشد. در اين ربات از يك استپر موتور ۲۰۰ استپ استفاده شده است.

۴ بيت براي كنترل استپر موتور و ۲ بيت براي هر کدام از درايورهاي **DC** موتورهاي و يك بيت براي روشن و خاموش كردن مگنت لازم است پس در كل ۹ بيت كنترلي لازم است كه ۸ بيت پورت ديتا و يك بيت پورت كنترل از پورت پرينيتر به مدار كنترلي متصل شده است.

## ۳-۲ سيستم كامپيوتر ربات

برنامه كنترل كننده ربات به زبان **Delphi** نوشته شد و در كل شامل ۱۶۰۰ خط است. در ادامه بخشهای مختلف آن معرفی می شود.

### **Device drivers**

اين بخش شامل زير برنامه هاي كنترل سخت افزار و دسترسي به پورت چاپگر است كه به زبان اسمبلي نوشته شده است. لازم به توضيح است كه **Delphi** داراي يك اسمبلر داخلي است و نيازي به لينك كردن برنامه اصلي با قسمتهای كنترلي نيست.



### بخش دریافت کننده تصاویر از دوربین

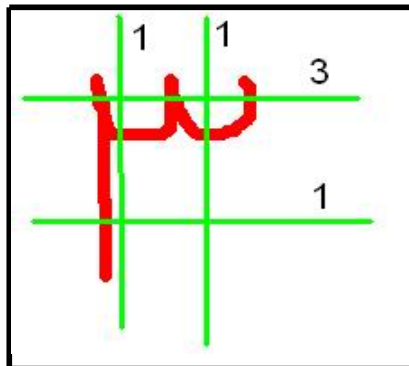
برای گرفتن تصویر دوربین از تکنولوژی **VFW (Video for Windows)** استفاده شده است. کامپوننت مورد استفاده برای کنترل دوربین **TScap32** بوده است که بطور رایگان در اینترنت منتشر شده است. این کامپوننت بعد از تبادل اطلاعات کنترلی با **VFW** تصاویر را بصورت یک ماتریس  $288 \times 352$  در قالب **RGB** در اختیار قسمتهای پردازش تصویر قرار می دهد.

### پردازش تصویر

اعمال مربوط به تعیین موقعیت **TCP** و تشخیص اعداد برای حل پازل توسط پردازش تصاویر گرفته شده از دوربین انجام می شود. دوربین مورد استفاده یک **webcam** با تکنولوژی **CMOS** است. برای تشخیص عناصر تصویر از مقایسه مقادیر **RGB** مربوط به پیکسلهای تصویری با مقادیر مطلوب استفاده می شود. بنابراین تمام فیلترهای رنگ نرم افزاری هستند. بعد از جدا کردن پازل موقعیت هر کدام از خانه ها و عدد موجود در آن محاسبه می شود.

### تشخیص اعداد

بعد از اینکه اعداد از پس زمینه جدا شدند نوبت تشخیص آنها است برای تشخیص اعداد از یک الگوریتم ابداعی استفاده شده است. با توجه به شکل ۲ به توضیح این الگوریتم می پردازیم.



شکل ۲ : نحوه تشخیص اعداد

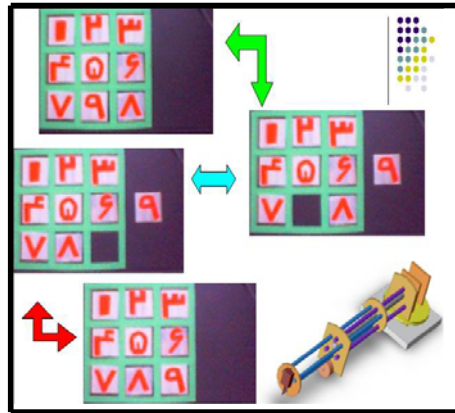
همانگونه که در شکل مشاهده می شود تعداد خطهای تشکیل دهنده هر عدد در موقعیتهای مختلفی متفاوت در صفحه عدد متفاوت است و این کلید تشخیص اعداد در این الگوریتم است مثلاً برای عدد **3** تعداد خطوط بالا ۳ عدد، پایین یک عدد، چپ ۱ عدد و راست هم ۱ عدد است اگر دنباله بدست آمده را به عدد ۳ نسبت دهیم به ازای هر عدد دنباله متفاوتی خواهیم داشت که از آن برای تشخیص عدد استفاده می کنیم



البته برای بهبود عملکرد الگوریتم تعداد خطوط در بعضی از جاهای دیگر هم باید محاسبه شود.

### حل پازل

بعد از مشخص شدن ترتیب اعداد در پازل برای حل آن کافی است از یک جال خالی در صفحه (بعنوان متغیر اضافی در تعویض جای دو متغیر) استفاده کنیم.



شکل ۳ : روند حل پازل

مثلاً اگر ۱ سر جا خودش نبود کافی است عدد موجود در خانه ۱ در خارج پازل قرار می دهیم و بعد از گذاشتن عدد ۱ سر جای خودش عدد خارج را به جای ۱ قرار دهیم. به این ترتیب بعد از چند بار اجرای این عمل پازل مرتب خواهد شد. در شکل ۳ این الگوریتم نشان داده شده است.

### حلقه کنترلی بافیدبک مبتنی بر پردازش تصویر

بعد از تشخیص اعداد و حل پازل کلیه اعمالی که ربات باید انجام دهد تا پازل مرتب شود مشخص خواهد شد. با توجه به مختصات هر کدام از اعداد این اعمال در قالب نوعی **G-code** فراهم می شود و نهایتاً حلقه کنترلی باید با توجه به مختصات جای خانه های پازل را با هم عوض کند.

برای پیدا کردن **TCP** صفحه یکبار جاروب می شود و با توجه به اینکه رنگ **TCP** از پس زمینه متفاوت است موقعیت آن مشخص خواهد شد. حال ربات کافی است با توجه به موقعیت مقصد و نقطه **TCP** حرکت بهینه را انجام دهد. برای این کار ابتدا  $r$  و سپس  $\theta$  افزایش و یا کاهش پیدا می کند تا با مقادیر  $r$  و  $\theta$  مطلوب برابر شوند.



### ۳- تعریف ماموریت جدید

با توجه به این که امکان وارد کردن **G-code** بصورت دستی هم وجود خواهد داشت بنابراین برای تعریف ماموریت جدید کافی است با توجه به مختصات در میدان تصویر مقادیر مختصات و عمل ربات در آن مختصات را وارد نماییم تا ربات کار مورد نظر را انجام دهد و یا اینکه الگوریتم جدید را با الگوریتم حل پازل جایگزین کنیم تا تعیین موقعیت ها را به صورت خودکار انجام دهد.

### ۴ نتیجه

در این مقاله بخشهای گوناگون یک سیستم ربات هوشمند حل کننده پازل که برای اولین بار در کشور طراحی و ساخته شده است بطور مشروح ارائه گردیده است هماهنگی کامل بین قسمت های الکترونیکی، مکانیکی و کامپیوتری مختلف باعث ایجاد سازه ای شده است که توانایی انجام یک کار هوشمندانه را دارا می باشد. در این مورد حل کردن پازلی که از قبل نامرتب بودن آن مشخص نیست هوشمند محسوب می شود. استفاده از پردازش تصویر برای فید یک حلقه کنترلی از کارهی جدیدی است که در این ربات ارائه شده است و انعتاف پذیری ربات در انجام ماموریت جدید را افزایش میدهد.

### مراجع :

[1]. G. Romeo and A. Camera, "Robots for Flexible Assembly Systems", Robotics Today, Fall, 1980, pp. 23-43.

[2]. J. Meacham, TIG Welding with Robotics, Robotics Age, March, 1981, pp. 28-31.

[3]. PERA Robots, "A Further Survey of Robots and Their Current Applications in Industry", Report 337. London: Melton Mowbray, 1983.

[4]. Joseph F. Engelbert, Robotics in Practice, 1980.

[5]. U.S. Department of Commerce, "A Competitive of the U.S Robotics Industry", March 1987.

[6]. Tech Tran., Industrial Robots, "A summary & Forecast", Tech tran, Crop, Naperville, Illinois, 1983.

[7]. "U.S. Robotics Market Expected to Double by 2001", Robotics World, pp.8.