

Analysis and Evaluation of Electronic System Architectures in Intelligent Robotics

Mohammad Rafi Toufiq¹  Mohammad Aqil Sahel² 

1. Visiting Lecturer, Faculty of Computer Science, Kateb University, Kabul, Afghanistan. (Corresponding Author) Email: rafi143.toufiq@gmail.com

2. Visiting Lecturer, Faculty of Computer Science, Kateb University, Kabul, Afghanistan.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 17/02/2026

Received in revised form: 19/02/2026

Accepted: 12/03/2026

Available online: 19/03/2026

Keywords:

Electronic system architecture, intelligent robotics, distributed architecture, modular architecture, fault tolerance, real-time processing

ABSTRACT

The architecture of electronic systems in intelligent robotics plays a fundamental role in improving accuracy, processing speed, reliability, and autonomous decision-making. In this study, five common architectures—centralized, distributed, hybrid, modular, and layered—are analyzed from the perspectives of complexity, reliability, response time, fault tolerance, energy consumption, and scalability. Data were extracted using comparative methods, graphical modeling, and performance criteria analysis. The results indicate that the centralized architecture has a simpler structure and lower cost but is more vulnerable to system failure. In contrast, distributed and layered architectures offer higher reliability and scalability, enabling parallel processing and big data management. The layered architecture, due to its combination of reactive and hierarchical features, provides a suitable balance between response speed and decision-making accuracy. Findings show that while more advanced architectures entail greater design complexity, they deliver superior performance in industrial applications, mobile robots, and autonomous systems. The results of this study can assist researchers and designers in selecting the most appropriate architecture for intelligent robotic systems.

Cite this article: Toufiq, M. & Sahel, M. (2026). Analysis and Evaluation of Electronic System Architectures in Intelligent Robotics, *Kateb Scientific-Research Journal of Technology and Engineering*, 1 (1), 191-210.



تحلیل و ارزیابی معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند

محمد رفیع توفیق^۱  محمد عقیل ساحل^۲ 

۱. استاد قراردادی، پوهنځی کمپیوترساینس، پوهنتون کاتب، کابل، افغانستان. (نویسنده مسئول)

ایمیل: rafi143.toufiq@gmail.com

۲. استاد قراردادی، پوهنځی کمپیوترساینس، پوهنتون کاتب، کابل، افغانستان.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله تحقیقی	
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸	
تاریخ ارزیابی: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۱	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۸	
واژه‌های کلیدی: تحلیل و ارزیابی معماری سیستم‌های الکترونیکی، حسگرها، واحد پردازش، سیستم کنترل، محرک‌ها	چکیده: معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی روبات‌های مدرن به شمار می‌رود که نقش اساسی در بهبود دقت، سرعت پردازش، قابلیت اطمینان و تصمیم‌گیری خودکار ایفا می‌کند. پیشرفت فناوری‌های هوش مصنوعی، سیستم‌های کنترل تطبیقی، یادگیری ماشین و شبکه‌های ارتباطی موجب توسعه معماری‌های نوین در روباتیک شده است [۱-۴]. در این تحقیق، پنج نوع معماری متداول شامل معماری متمرکز، معماری توزیع‌شده، معماری ترکیبی، معماری ماژولار و معماری لایه‌ای بررسی و تحلیل شده‌اند. هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی عملکرد این معماری‌ها از دیدگاه سطح پیچیدگی، قابلیت اطمینان، زمان پاسخ، تحمل خطا، مصرف انرژی و توسعه‌پذیری در سیستم‌های روباتیک هوشمند می‌باشد. [5-8] در این مطالعه، داده‌های تحلیلی با استفاده از روش مقایسه‌ای، مدل‌سازی گرافیکی و تحلیل معیارهای عملکردی استخراج شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که معماری متمرکز دارای ساختار ساده‌تر و هزینه کمتر بوده، اما در برابر خرابی سیستم آسیب‌پذیری بیشتری دارد [۹-۱۱]. در برابر، معماری توزیع‌شده و معماری لایه‌ای دارای قابلیت اطمینان و توسعه‌پذیری بالاتر بوده و امکان پردازش موازی و مدیریت داده‌های حجیم را فراهم می‌سازند [۱۲-۱۵]. همچنین معماری لایه‌ای به دلیل ترکیب ویژگی‌های معماری واکنشی و سلسله‌مراتبی، تعادل مناسبی میان سرعت پاسخ و دقت تصمیم‌گیری ایجاد می‌کند [16-18]. بررسی نمودارهای میله‌ای نشان می‌دهد که معماری‌های پیشرفته‌تر اگرچه دارای پیچیدگی طراحی بیشتری هستند، اما در کاربردهای صنعتی، روبات‌های متحرک، روبات‌های امداد و سیستم‌های خودمختار عملکرد بهتری ارائه می‌کنند [۱۹-۲۱]. افزون بر این، استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی حرکت، سیستم‌های کنترل هوشمند و فناوری‌های یادگیری عمیق باعث بهبود کارایی معماری‌های روباتیک شده است [۲۲-۲۵]. نتایج این تحقیق می‌تواند به تحقیق‌گران، طراحان سیستم‌های روباتیک و مهندسان الکترونیک در انتخاب معماری مناسب برای توسعه روبات‌های هوشمند کمک کند.
	بررسی نمودارهای میله‌ای نشان می‌دهد که معماری‌های پیشرفته‌تر اگرچه دارای پیچیدگی طراحی بیشتری هستند، اما در کاربردهای صنعتی، روبات‌های متحرک، روبات‌های امداد و سیستم‌های خودمختار عملکرد بهتری ارائه می‌کنند [۱۹-۲۱]. افزون بر این، استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی حرکت، سیستم‌های کنترل هوشمند و فناوری‌های یادگیری عمیق باعث بهبود کارایی معماری‌های روباتیک شده است [۲۲-۲۵]. نتایج این تحقیق می‌تواند به تحقیق‌گران، طراحان سیستم‌های روباتیک و مهندسان الکترونیک در انتخاب معماری مناسب برای توسعه روبات‌های هوشمند کمک کند.
	بررسی نمودارهای میله‌ای نشان می‌دهد که معماری‌های پیشرفته‌تر اگرچه دارای پیچیدگی طراحی بیشتری هستند، اما در کاربردهای صنعتی، روبات‌های متحرک، روبات‌های امداد و سیستم‌های خودمختار عملکرد بهتری ارائه می‌کنند [۱۹-۲۱]. افزون بر این، استفاده از الگوریتم‌های برنامه‌ریزی حرکت، سیستم‌های کنترل هوشمند و فناوری‌های یادگیری عمیق باعث بهبود کارایی معماری‌های روباتیک شده است [۲۲-۲۵]. نتایج این تحقیق می‌تواند به تحقیق‌گران، طراحان سیستم‌های روباتیک و مهندسان الکترونیک در انتخاب معماری مناسب برای توسعه روبات‌های هوشمند کمک کند.

استاد: توفیق، محمد رفیع و ساحل، محمد عقیل (۱۴۰۴). تحلیل و ارزیابی معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند. مجله علمی - تحقیقی تکنالوژی و انجینیری کاتب، ۱(۱)، ۲۱۰-۱۹۱.



مقدمه

روباتیک هوشمند یکی از پیشرفته‌ترین شاخه‌های مهندسی و فناوری اطلاعات است که در صنایع، پزشکی، سیستم‌های نظامی، خدمات و اتوماسیون نقش مهمی ایفا می‌کند. روبات‌های هوشمند با استفاده از حسگرها، واحدهای پردازش، کنترل‌کننده‌ها و شبکه‌های ارتباطی قادر به جمع‌آوری اطلاعات، پردازش داده‌ها و تصمیم‌گیری خودکار می‌باشند [۱-۴]. عملکرد دقیق این سیستم‌ها به معماری سیستم‌های الکترونیکی وابسته است که نقش مهمی در سرعت پردازش، دقت کنترل، قابلیت اطمینان و مدیریت توان دارد [۵-۸].

با پیشرفت فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی، روباتیک ابری و سیستم‌های توزیع‌شده، معماری‌های روباتیک نیز توسعه یافته‌اند [۹-۱۲]. با این حال، بسیاری از تحقیق‌های پیشین بیشتر بر الگوریتم‌ها و اجزای منفرد تمرکز داشته و تحلیل جامع معماری سیستم‌های الکترونیکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است [۱۳-۱۶]. این موضوع ضرورت بررسی و ارزیابی معماری‌های گوناگون روباتیک را برای بهبود عملکرد، کاهش مصرف انرژی و افزایش قابلیت اطمینان آشکار می‌سازد [۱۷-۱۹].

هدف این تحقیق، تحلیل و مقایسه معماری‌های متمرکز، توزیع‌شده، ماژولار، ترکیبی و لایه‌ای در روباتیک هوشمند می‌باشد. در این تحقیق، شاخص‌هایی مانند سرعت پاسخ، تحمل خطا، مقیاس‌پذیری، مصرف انرژی و هماهنگی میان اجزا بررسی شده‌اند [۲۰-۲۲]. همچنین تأثیر فناوری‌های نوین مانند یادگیری عمیق و کنترل هوشمند بر بهبود معماری‌های روباتیک تحلیل گردیده است [۲۳-۲۵]. نتایج این تحقیق می‌تواند چارچوب مناسبی برای طراحی و انتخاب معماری بهینه در سیستم‌های روباتیک هوشمند فراهم سازد.

۱. پیشینه تحقیق

تحقیق‌های انجام‌شده در حوزه معماری سیستم‌های الکترونیکی روباتیک نشان می‌دهد که طراحی معماری مناسب تأثیر مستقیم بر کارایی، قابلیت اطمینان، پردازش بلادرنگ، انعطاف‌پذیری و مصرف انرژی روبات‌های هوشمند دارد [۱-۵]. در تحقیق‌های نخستین، معماری متمرکز به دلیل سادگی طراحی و سهولت کنترل، در روبات‌های صنعتی و سیستم‌های ساده کاربرد گسترده‌ای داشته است [۶-۸]. با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که وابستگی کامل به واحد پردازش مرکزی باعث افزایش بار پردازشی، کاهش قابلیت اطمینان و ایجاد نقطه خرابی بحرانی در سیستم می‌شود [۹-۱۱].

برای رفع این محدودیت‌ها، معماری توزیع‌شده توسعه یافته است که در آن وظایف پردازشی میان چندین واحد مستقل تقسیم می‌شود [۱۲-۱۵]. نتایج تحقیق‌ها بیانگر آن است که این معماری موجب کاهش تأخیر پردازشی، افزایش قابلیت اطمینان و بهبود هماهنگی میان زیرسیستم‌های روباتیک می‌گردد [۱۶-۱۸]. همچنین استفاده از روباتیک ابری و سیستم‌های توزیع‌شده امکان پردازش هم‌زمان داده‌ها و مدیریت هوشمند اطلاعات را فراهم ساخته است [۹-۱۲].

در سال‌های اخیر، معماری ماژولار و ترکیبی به‌عنوان رویکردهای پیشرفته در طراحی سیستم‌های روباتیک مطرح شده‌اند [۱۹-۲۱]. معماری ماژولار با تقسیم سیستم به واحدهای مستقل، انعطاف‌پذیری و

توسعه‌پذیری را افزایش می‌دهد، در حالی که معماری ترکیبی با ادغام ویژگی‌های معماری متمرکز و توزیع‌شده، تعادل مناسبی میان سرعت پردازش، قابلیت اطمینان و مدیریت توان ایجاد می‌کند [۲۲-۲۵]. به‌طور کلی، مطالعات پیشین نشان می‌دهد که معماری‌های توزیع‌شده، ماژولار و ترکیبی نقش مهمی در توسعه نسل جدید روبات‌های هوشمند و خودمختار دارند.

۲. روش تحقیق

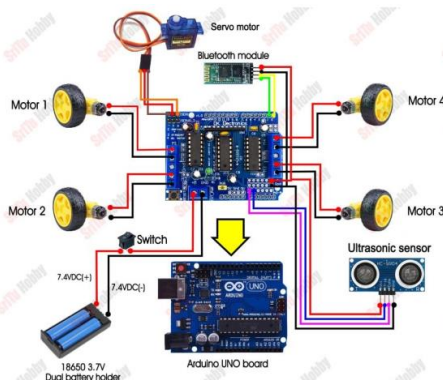
این تحقیق با رویکرد کاربردی، تحلیلی-مقایسه‌ای و تجربی به‌منظور ارزیابی معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند انجام شده است. در این تحقیق، معماری‌های متمرکز، توزیع‌شده، ماژولار و ترکیبی به‌عنوان متغیر مستقل و شاخص‌هایی مانند زمان پاسخ، قابلیت اطمینان، مصرف انرژی، دقت عملکرد، مقیاس‌پذیری و پیچیدگی طراحی به‌عنوان متغیرهای وابسته بررسی شده‌اند [۱-۵]. برای استخراج داده‌ها، یک روبات متحرک هوشمند آزمایشگاهی طراحی و پیاده‌سازی گردید که مجهز به حسگرهای فراصوت، واحدهای پردازش ESP32، سیستم کنترل PID و ماژول‌های ارتباطی می‌باشد. هر معماری به‌صورت جداگانه روی روبات پیاده‌سازی و در شرایط یکسان آزمایش شد [۶-۱۰]. آزمایش‌ها در محیط دارای موانع ثابت و متحرک انجام گردید و هر آزمون پنج بار تکرار شد تا دقت و قابلیت اطمینان نتایج افزایش یابد.

داده‌های مورد نیاز از راه اندازه‌گیری مستقیم زمان پاسخ، میزان مصرف انرژی، دقت حسگرها و پایداری عملکرد سیستم جمع‌آوری گردید [۱۱-۱۵]. سپس اطلاعات به‌دست‌آمده در قالب جدول‌های مقایسه‌ای و نمودارهای میله‌ای تحلیل شدند. در بخش تحلیل کمی، میانگین نتایج آزمایش‌ها برای مقایسه معماری‌ها استفاده گردید و در بخش تحلیل توصیفی، نحوه تعامل حسگرها، واحد پردازش، سیستم کنترل و محرک‌ها بررسی شد [۱۶-۲۰].

به‌منظور اعتبارسنجی نتایج، یافته‌های تجربی با مطالعات و منابع علمی معتبر حوزه روباتیک، سیستم‌های توزیع‌شده، روباتیک ابری و معماری‌های کنترل هوشمند مقایسه گردید [۲۱-۲۵]. نتایج این روش تحقیق زمینه مناسبی برای ارزیابی عملی و انتخاب معماری بهینه در طراحی روبات‌های هوشمند فراهم می‌سازد.

۲-۱. مطالعه موردی: موتور روباتیک بلوتوثی

روبات‌هایی که با استفاده از بلوتوث کنترل می‌شوند، یکی از کاربردی‌ترین سیستم‌های روباتیک در حوزه‌های آموزشی، مهندسی و صنعتی به‌شمار می‌روند. استفاده از فناوری بلوتوث امکان کنترل بی‌سیم روبات را فراهم می‌کند و باعث کاهش پیچیدگی سیم‌کشی و افزایش انعطاف‌پذیری سیستم می‌شود. این مطالعه موردی به بررسی طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی عملکرد یک روبات متحرک کنترل‌شونده با بلوتوث می‌پردازد، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- مدار رباتیک که با استفاده از ماژول بلوتوث کنترل می‌شود

هدف این مطالعه، طراحی یک ربات متحرک است که با استفاده از بلوتوث و تلفن همراه کنترل شود؛ حرکت دقیق و پایدار داشته باشد؛ موانع محیطی را تشخیص دهد و قابلیت توسعه به سیستم‌های هوشمند را داشته باشد. معماری و طراحی این ربات متحرک شامل پنج بخش اساسی است. بخش نخست، واحد پردازش که در حقیقت مغز ربات را تشکیل می‌دهد و همه دستورات طبق برنامه ویژه بر روی آن اجرا می‌شود؛ در این ربات از نوع واحد پردازش میکروکنترلر Arduino Uno استفاده شده است. این واحد مسئول دریافت فرمان‌های بلوتوث، پردازش داده‌های حسگر و ارسال فرمان به موتورهای حرکتی است. بخش دوم، سیستم ارتباطی است که برای ارتباط میان ربات و کنترل از راه دور یا تلفن همراه به کار می‌رود؛ این ارتباط از راه سیم یا بی‌سیم قابل اجراست که در این ربات از ماژول بلوتوث HC-05 استفاده شده است. بخش سوم، سیستم محرک ربات است که شامل چهار موتور DC، یک درایور موتور L298N و یک سروو موتور می‌باشد. بخش چهارم، منبع تغذیه برای تأمین انرژی ربات است. بخش پنجم، طراحی نرم‌افزار و الگوریتم کنترل است. این مراحل شامل برقراری ارتباط بلوتوث، دریافت فرمان، تحلیل فرمان حرکتی، بررسی داده حسگر و ارسال فرمان به موتور می‌باشد. فرمان‌های حرکتی مانند حرکت به جلو، حرکت به عقب، چرخش به راست، چرخش به چپ و توقف است. سیستم حسگری در این پروژه، معماری سیستم به صورت متمرکز طراحی شده است که در آن یک میکروکنترلر وظیفه مدیریت کل سیستم را بر عهده دارد.

۲-۲. توصیه‌ها و پیشنهادهای مطالعه موردی (موتور رباتیک بلوتوثی)

بر پایه تحلیل و ارزیابی مطالعات هوشمند و یافته‌های تحقیقی، این بخش مجموعه‌ای از توصیه‌های راهبردی، علمی و تخصصی را برای بهبود یک ربات موتور که با استفاده از بلوتوث کنترل می‌شود، در جدول ۱ به طور خلاصه معرفی می‌کند.

جدول ۱- توصیه‌های تخصصی و علمی برای جایگزینی قطعات موتور روباتیک بلوتوثی

تأثیر بر عملکرد سیستم	مزایای علمی و مهندسی	قطعات پیشنهادی جدید	محدودیت‌های فنی	قطعات استفاده‌شده در روبات
افزایش سرعت پردازش و قابلیت توسعه سیستم	پردازش سریع‌تر، پشتیبانی از Wi-Fi و بلوتوث داخلی	ESP32 یا Raspberry Pi Pico	توان پردازشی محدود و حافظه کم	Arduino Uno
افزایش پایداری ارتباط و کنترل دقیق‌تر	کاهش مصرف انرژی و افزایش برد ارتباطی	Bluetooth Low Energy (BLE) یا ESP32 داخلی	برد ارتباطی محدود و مصرف انرژی بالا	ماژول بلوتوث HC-05
افزایش قدرت حرکت و کاهش اتلاف انرژی	راندمان بالا و مصرف انرژی کمتر	دراپور موتور TB6612FNG یا BTS7960	راندمان پایین و تولید حرارت زیاد	دراپور موتور L298N
افزایش دقت حرکت روبات	کنترل دقیق سرعت و موقعیت	موتور انکودردار یا سروو موتور	دقت پایین در کنترل سرعت و موقعیت	موتور DC معمولی
بهبود ناوبری و تشخیص موانع	دقت اندازه‌گیری بالا و سرعت پاسخ بهتر	حسگر LiDAR ToF Sensor	دقت اندازه‌گیری پایین و سرعت کمتر	حسگر فراصوت HC-SR04
افزایش زمان عملکرد روبات	ظرفیت بالا و وزن کمتر	باتری لیتیوم-یون یا لیتیوم-پلیمر	ظرفیت پایین و عمر کوتاه	باتری معمولی ۹ ولت
افزایش دوام و پایداری روبات	استحکام بالا و وزن مناسب	بدنه آلومینیومی یا فیبر کربن	مقاومت مکانیکی پایین	بدنه ساده شاسی
امکان کنترل از فاصله دور و اتصال به اینترنت اشیا	افزایش برد ارتباطی و انتقال داده سریع	ماژول Wi-Fi یا ارتباط Go	محدودیت فاصله کنترل	سیستم ارتباطی فقط بلوتوث
افزایش هوشمندی روبات	تصمیم‌گیری خودکار و سازگاری با محیط	استفاده از پردازش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین	عدم استفاده از الگوریتم‌های هوشمند	سیستم کنترل ساده

۲_۳. خلاصه جدول توصیه‌های تخصصی و علمی برای جایگزینی قطعات موتور روباتیک بلوتوثی نخست: بهبود واحد پردازش با استفاده از ESP32 یا Raspberry Pi Pico باعث افزایش توان پردازشی و کاهش مصرف انرژی می‌شود. این قطعات همچنین امکان توسعه سیستم به روبات‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا را فراهم می‌کنند.

دوم: بهبود سیستم ارتباطی با فناوری BLE و Wi-Fi نسل جدید باعث کاهش تأخیر ارتباطی و افزایش برد کنترل می‌شود. این موضوع در سیستم‌های روباتیک پیشرفته اهمیت زیادی دارد.

سوم: بهبود سیستم محرک؛ درایورهای موتور جدید راندمان انرژی بالاتری دارند و باعث افزایش دقت و قدرت حرکت روبات می‌شوند. استفاده از موتورهای دارای انکودر امکان کنترل دقیق موقعیت روبات را فراهم می‌کند.

چهارم: بهبود سیستم حسگری؛ حسگرهای LiDAR و ToF نسبت به حسگر فراصوت دقت بسیار بالاتری دارند و در سیستم‌های ناوبری پیشرفته استفاده می‌شوند.

پنجم: بهبود سیستم انرژی؛ باتری‌های لیتیومی باعث کاهش وزن روبات و افزایش زمان عملکرد آن می‌شوند که برای کاربردهای عملی بسیار مهم است.

۳. تحلیل تجربی معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند

تحلیل تجربی به‌منظور بررسی عملکرد عملی معماری‌های سیستم‌های الکترونیکی انجام شده است. این تحلیل شامل پیاده‌سازی نمونه آزمایشگاهی روبات، جمع‌آوری داده‌های عملی و ارزیابی شاخص‌های عملکرد مهندسی می‌باشد. هدف این تحلیل، مقایسه عملی معماری‌های متمرکز، توزیع شده، ماژولار و ترکیبی و تعیین برتری ساختار در کاربردهای روباتیک هوشمند است.

نمونه آزمایشگاهی و محیط آزمایش بر پایه شاخص‌های زیر طراحی شده است: روبات مورد استفاده، روبات متحرک خودمختار؛ حسگرهای فاصله‌سنج فراصوت برای شناسایی موقعیت؛ واحد پردازش ESP32 به‌عنوان پردازشگر توزیع شده و واحد پردازش مرکزی برای معماری ترکیبی؛ سیستم کنترل الگوریتم PID برای کنترل حرکت؛ الگوریتم تصمیم‌گیری مبتنی بر پردازش بلادرنگ؛ محیط نرم‌افزاری ++C برای تحلیل شاخص‌ها. نتایج عملی تحلیل تجربی در جدول ۲ معرفی می‌گردد.

جدول ۲- نتایج تحلیل تجربی عملی

معماری ترکیبی	معماری ماژولار	معماری توزیع شده	معماری متمرکز	شاخص عملکرد
85 ms	90 ms	80 ms	150 ms	زمان پاسخ‌دهی
%97	%96	%95	%92	دقت عملکرد
بسیار بالا	بالا	بالا	متوسط	قابلیت اطمینان
بسیار بالا	بالا	بالا	متوسط	بهره‌وری انرژی

معماری ترکیبی	معماری ماژولار	معماری توزیع شده	معماری متمرکز	شاخص عملکرد
بالا	بسیار بالا	متوسط	پایین	انعطاف پذیری
متوسط	بالا	متوسط	پایین	پیچیدگی طراحی

یافته‌های جدول ۲ به‌طور اختصاصی به‌شرح زیر است: در گام نخست، معماری متمرکز دارای زمان پاسخ‌دهی بالا و انعطاف‌پذیری پایین است و این معماری برای پروژه‌های کوچک مناسب می‌باشد. دوم، معماری توزیع شده دارای قابلیت اطمینان بالا و به‌دلیل پردازش موازی، زمان پاسخ‌دهی سیستم را کاهش می‌دهد. سوم، معماری ماژولار دارای انعطاف‌پذیری و قابلیت توسعه بسیار بالا به‌دلیل افزودن ماژول‌های جدید بدون تأثیر بر سیستم است، اما دارای ساختار پیچیده‌تری می‌باشد. چهارم، معماری ترکیبی تعادل مناسبی میان زمان پاسخ‌دهی، بهره‌وری انرژی و قابلیت اطمینان دارد؛ از این رو این معماری برای روبات‌های هوشمند چندانظوره استفاده می‌شود.

۴. معماری سیستم‌های الکترونیکی روباتیک

معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند عبارت است از مجموع قطعات و اجزای سیستم‌های الکترونیکی که به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از محیط و روبات، پردازش اطلاعات، گرفتن تصمیمات هوشمند و اجرای دستورات مکانیکی یا الکترونیکی طراحی شده است. این معماری شامل واحدهای حسگری، واحد پردازش، سیستم کنترل، سیستم‌های محرک و اجزاء سیستم‌های ارتباطی و منابع تغذیه انرژی می‌باشد که به‌صورت هماهنگ و یکپارچه با یکدیگر تعامل می‌کنند. همچنین معماری سیستم‌های الکترونیکی به پنج نوع تقسیم می‌شود که هر یک به‌طور خلاصه معرفی می‌گردد.

۴-۱. معماری متمرکز (Centralized Architecture)

این معماری عبارت است از معماری‌ای که در سیستم‌های الکترونیکی و روباتیک، تمام پردازش اطلاعات، تصمیم‌گیری‌ها و مدیریت فرمان توسط یک واحد پردازش مرکزی انجام می‌شود. از این نوع معماری به‌دلیل سادگی در طراحی و مدیریت، در روبات‌های تک‌وظیفه‌ای استفاده می‌شود. برای نمونه، در ساختار قطعات Arduino و STM از نوع معماری متمرکز ساخته شده است.

۴-۲. معماری توزیع شده (Distributed Architecture)

این معماری عبارت است از معماری‌ای در سیستم‌های الکترونیکی و روباتیک هوشمند که در آن پردازش اطلاعات و کنترل سیستم به‌صورت محلی در اجزای سیستم انجام می‌شود؛ یعنی اجزای گوناگون روبات از راه سیستم‌های ارتباطی با هم وصل هستند و با یکدیگر اطلاعات را تبادل می‌کنند. در این ساختار، حسگرها، محرک‌ها و ماژول‌های پردازشی هر کدام دارای قدرت پردازش مستقل یا نیمه‌مستقل می‌باشند. از

این نوع معماری در ساختار پروژه‌های چندماژوله مانند حسگر IR و دوربین‌های RGB و غیره استفاده می‌گردد.

۴-۳. معماری ترکیبی (Hybrid Architecture)

این معماری عبارت است از معماری‌ای در سیستم‌های الکترونیکی و رباتیک هوشمند که خصوصیات معماری متمرکز و معماری توزیع‌شده را هم‌زمان در خود دارد. از این نوع معماری در روبات‌های خودران و نیمه‌خودران که دارای چندین ماژول حسگری و محرک هستند استفاده می‌شود؛ مانند ماژول کنترل حرکت، سروو، درایور موتور و غیره که از این نوع معماری ترکیبی می‌باشند.

۴-۴. معماری ماژولار (Modular Architecture)

این معماری عبارت است از معماری‌ای در سیستم‌های الکترونیکی و رباتیک که روبات را به ماژول‌های مستقل، توسعه‌پذیر و قابل جایگزین تقسیم می‌کند. این معماری قابلیت ترمیم آسان را دارد و در روبات‌های چندوظیفه‌ای استفاده می‌شود.

۴-۵. معماری لایه‌ای (Layered Architecture)

معماری لایه‌ای در سیستم‌های الکترونیکی و رباتیک روشی است که هر سیستم به لایه‌های مستقل و سلسله‌مراتبی تقسیم می‌شود و هر لایه وظیفه ویژه‌ای را انجام می‌دهد. از این معماری در ساختار روبات‌های خدماتی و صنعتی استفاده می‌شود و این ساختار از سه قسمت تشکیل شده است که هر یک به‌طور خلاصه معرفی می‌گردد:

لایه ادراک (Perception Layer): وظیفه این لایه عبارت است از جمع‌آوری اطلاعات محیطی.

این وظیفه بر پایه حسگرها اجرا می‌شود.

لایه تصمیم‌گیری (Decision Layer): وظیفه این لایه عبارت است از تجزیه و تحلیل داده و

برنامه‌ریزی حرکات روبات. این وظایف بر پایه الگوریتم‌های هوش مصنوعی، مسیریابی، پردازش تصویر و غیره اجرا می‌شود.

لایه اجرا (Execution Layer): وظیفه این لایه، اجرای همه دستورات و حرکات از پیش تنظیم‌شده

و مشخص روبات است که این دستورات و حرکات بر پایه محرک‌ها، درایور موتورها و سیستم‌های کنترل حرکت اجرا می‌شود.

پنج نوع معماری یادشده را می‌توان بر پایه داده‌های خام که از منابع گوناگون عملی گرفته شده است،

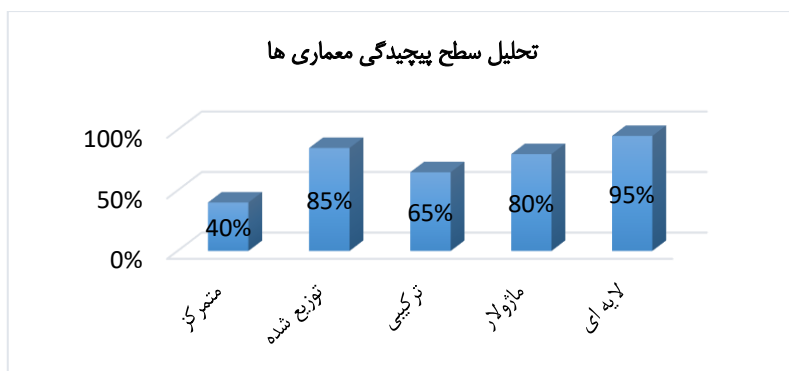
مطابق جدول ۳ شرح داد.

جدول ۳. داده‌های خام معماری‌ها

معماری	قابلیت اطمینان	زمان پاسخ (ms)	توان (W)	توسعه‌پذیری	پیچیدگی	تحمل خطا
متمرکز	۵۰	۱۵	۲۰	۳۵	۴۰	۳۰
توزیع‌شده	۹۲	۸	۴۵	۷۲	۸۵	۹۵
ترکیبی	۸۵	۱۰	۳۵	۸۲	۶۵	۸۸
ماژولار	۷۵	۱۲	۴۰	۹۴	۸۰	۷۸
لایه‌ای	۸۰	۲۰	۶۰	۷۸	۹۵	۸۲

۵. تحلیل سطح پیچیدگی معماری‌ها

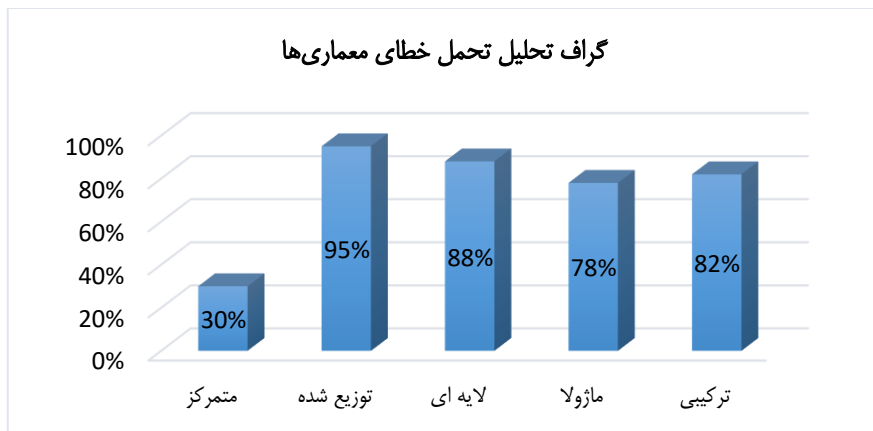
این ارقام نشان می‌دهند که طراحی و مدیریت معماری یک سیستم روباتیک چقدر دشوار است. معیارهای اندازه‌گیری سطح پیچیدگی عبارت‌اند از: تعداد ماژول‌ها، تعداد کنترلرها، حجم الگوریتم، میزان ارتباطات شبکه و تعداد خطوط برنامه. مقایسه سطح پیچیدگی معماری‌ها بر پایه نمودار ۱ شرح گردیده است.



نمودار ۱- مقایس سطح پیچیدگی معماری‌ها

۶. تحلیل سطح تحمل خطای معماری‌ها

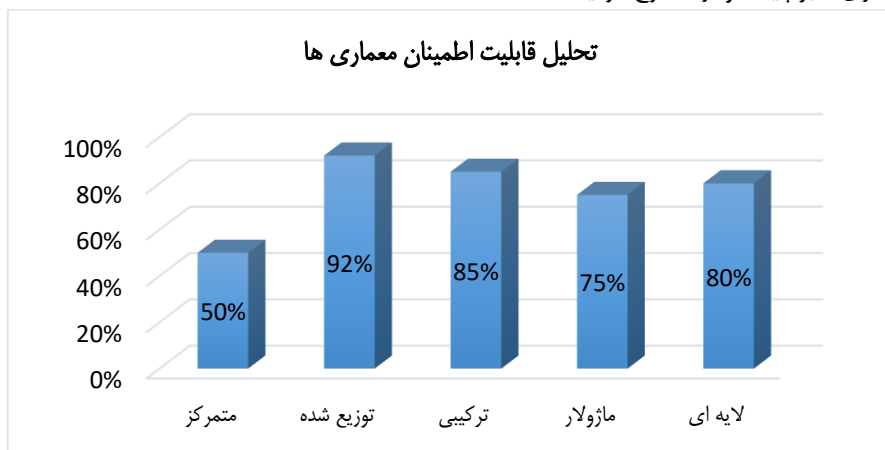
تحمل خطا در یک سیستم عبارت است از توانایی آن که اگر یک یا چند بخش آن خراب شود، سیستم باز هم بتواند به کار خود ادامه دهد (با کاهش یا بدون کاهش عملکرد). تحمل خطا معماری‌ها را می‌توان بر پایه نمودار ۲ شرح داد.



نمودار ۲- تحلیل تحمل خطای معماری‌ها

۷. تحلیل قابلیت اطمینان معماری‌ها

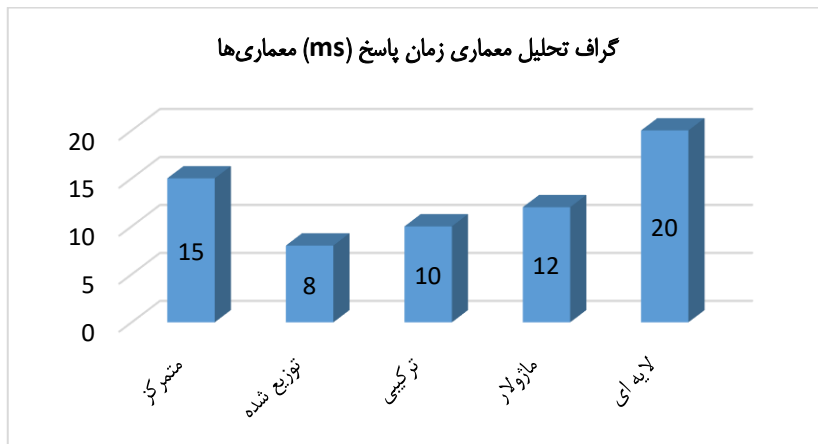
تحلیل قابلیت اطمینان معماری، یکی از مهم‌ترین بخش‌های طراحی سیستم‌های الکترونیکی، روباتیک، شبکه‌های رایانه‌ای و سیستم‌های نرم‌افزاری است. هدف این تحلیل، بررسی میزان توانایی معماری در جهت عملکرد صحیح سیستم در شرایط عادی و هنگام بروز خطا می‌باشد. قابلیت اطمینان معماری‌ها بر پایه نمودار ۳ شرح گردیده است.



نمودار ۳- تحلیل قابلیت اطمینان معماری‌ها

۸. زمان پاسخ‌دهی معماری‌ها

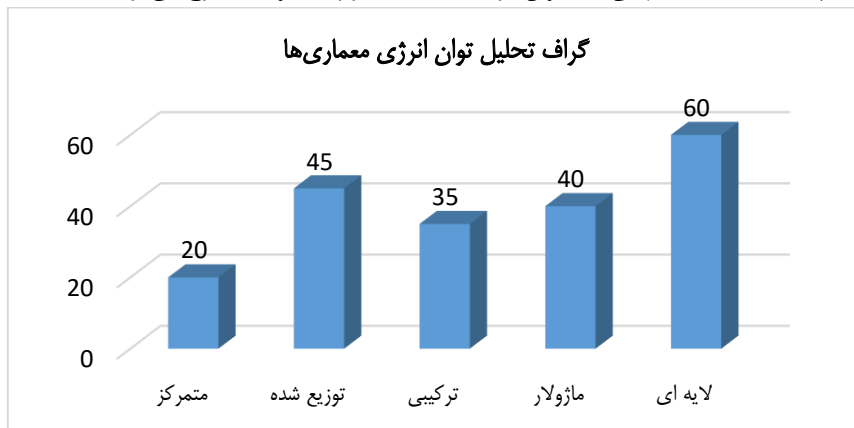
زمان پاسخ یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی سیستم‌های الکترونیکی، نرم‌افزاری و رباتیک است. این معیار نشان می‌دهد که سیستم یا معماری چه مدت زمان نیاز دارد تا به یک ورودی (درخواست) پاسخ دهد. زمان پاسخ‌دهی معماری‌ها بر پایه نمودار ۴ شرح گردیده است.



نمودار ۴ - تحلیل زمان پاسخ معماری‌ها

۹. تحلیل توان انرژی معماری‌ها

توان انرژی در معماری‌های سیستم‌های الکترونیکی، رباتیک و نرم‌افزاری به مقدار انرژی مصرف‌شده برای انجام یک وظیفه مشخص گفته می‌شود. این معیار نشان می‌دهد که یک معماری با چه مقدار مصرف انرژی، چه مقدار کار را انجام می‌دهد. توان انرژی معماری‌ها بر پایه نمودار ۵ شرح می‌گردد.



نمودار ۵ - تحلیل توان انرژی معماری‌ها

۱۰. سیستم‌های الکترونیکی در رباتیک هوشمند

سیستم‌های الکترونیکی بخش بسیار مهم و اساسی رباتیک را تشکیل می‌دهند و به‌عنوان ستون فقرات عملکردی یک ربات عمل می‌کنند. این سیستم‌ها شامل شش بخش اساسی مانند حسگرها، واحد پردازش، سیستم کنترل، سیستم‌های محرک، سیستم‌های ارتباطی و منبع تغذیه است. این اجزا با هماهنگی یکدیگر، امکان جمع‌آوری داده‌ها، پردازش داده، تصمیم‌گیری و اجرای عملیات ویژه را فراهم می‌کنند. سیستم‌های الکترونیکی در رباتیک دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشند، مانند افزایش کارایی ربات (پردازش سریع داده‌ها و پاسخ سریع به محرک‌ها)، انعطاف‌پذیری و توسعه آسان (امکان افزودن حسگرها و ماژول‌های جدید)، قابلیت اطمینان (کاهش وابستگی به یک واحد پردازش مرکزی) و بهینه‌سازی مصرف انرژی (طراحی بهینه معماری باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود). هر یک از این اجزا به‌طور زیر معرفی می‌شود.

۱-۱. حسگرها (Sensors)

حسگر وسیله الکترونیکی است که تغییرات کمیت‌های فیزیکی و محیطی مانند حرارت، فشار، نور، فاصله، حرکت، صدا و غیره را تشخیص داده و آن را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. ربات‌های هوشمند برای انجام وظایف پیچیده نیازمند درک دقیق محیط پیرامون خود هستند. این قابلیت از راه حسگرها فراهم می‌شود. کیفیت عملکرد ربات‌ها وابستگی مستقیم به دقت و سرعت حسگرهای مورد استفاده دارد. در سیستم‌های رباتیک مدرن، حسگرها نقش مشابه سیستم حسی انسان را ایفا می‌کنند و امکان تصمیم‌گیری خودکار را فراهم می‌سازند. پیشرفت فناوری حسگرها باعث افزایش سطح هوشمندی ربات‌ها گردیده است. به‌طور کلی، حسگرها شامل بخش‌های زیر هستند:

۱. **عنصر حساس:** مهم‌ترین بخش حسگر است که وظیفه تشخیص تغییرات کمیت فیزیکی محیط را بر عهده دارد. این بخش به‌طور مستقیم با محیط در تماس بوده و نخستین مرحله تبدیل اطلاعات را انجام می‌دهد. عنصر حساس به‌گونه‌ای عمل می‌کند که تغییرات فیزیکی مانند نور، حرارت، فشار یا حرکت را دریافت کرده و آن را به سیگنال الکتریکی یا مکانیکی تبدیل می‌کند.

۲. **مبدل یا ترانسدیوسر (Transducer):** ترانسدیوسر بخشی از حسگر است که تغییرات فیزیکی را به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند. این بخش نقش واسطه میان محیط و سیستم الکترونیکی را دارد؛ یعنی وقتی عنصر حساس تغییرات محیطی را دریافت می‌کند، ترانسدیوسر آن را به سیگنال الکتریکی مانند ولتاژ یا جریان تبدیل می‌کند.

۳. **مدار پردازش سیگنال (Signal Conditioning Circuit):** مدار پردازش سیگنال وظیفه تقویت، فیلتر و آماده‌سازی سیگنال خروجی حسگر را بر عهده دارد. سیگنال تولیدشده توسط ترانسدیوسر معمولاً ضعیف و دارای نویز است؛ این مدار سیگنال را تقویت کرده و نویزهای اضافی را حذف می‌کند.

۴. **مبدل آنالوگ به دیجیتال:** در بسیاری از حسگرها، خروجی به‌صورت سیگنال آنالوگ تولید می‌شود. مبدل آنالوگ به دیجیتال سیگنال آنالوگ را به داده دیجیتال تبدیل می‌کند تا توسط میکروکنترلر قابل پردازش باشد.

۵. واحد انتقال داده (Data Transmission Unit): این بخش داده‌های پردازش شده را به واحد کنترل یا پردازش مرکزی ارسال می‌کند. در روبات‌های هوشمند، این بخش امکان ارتباط سریع میان حسگرها و واحد پردازش را فراهم می‌کند. روش انتقال داده از راه ارتباط سیمی و ارتباط بی‌سیم می‌باشد.

۶ منبع تغذیه (Power Supply Unit): این بخش انرژی مورد نیاز حسگر را تأمین می‌کند. حسگرها به‌طور معمول با ولتاژ مشخصی کار می‌کنند و منبع تغذیه باید انرژی پایدار فراهم کند.

هر بخش از حسگر نقش مهمی در عملکرد کلی سیستم دارد؛ اگر یکی از این بخش‌ها دچار خطا شود، دقت و عملکرد حسگر کاهش می‌یابد. طراحی مناسب این بخش‌ها باعث افزایش کارایی و قابلیت اطمینان سیستم‌های روباتیک می‌شود، همان‌گونه که در جدول ۴ تحلیل و بررسی شده است.

جدول ۴ - تحلیل عملی حسگرها در طراحی معماری سیستم روباتیک

معیار معماری	تأثیر حسگرها	روش ارزیابی علمی	اهمیت در طراحی
دقت سیستم	وابسته به کیفیت حسگرها	آزمایش محیط واقعی	بسیار مهم
سرعت پردازش	وابسته به نوع خروجی حسگرها	تحلیل زمان پاسخ	بسیار مهم
سازگاری با پردازش	تعیین ارتباط سخت‌افزاری	تست ارتباط با میکروکنترلر	مهم
مصرف انرژی	تأثیر بر عمر سیستم	اندازه‌گیری توان مصرفی	بسیار مهم
پایداری محیطی	مقاومت در شرایط محیطی	آزمایش حرارت و رطوبت	مهم

۲-۱۰. واحد پردازش

واحد پردازش عبارت است از هسته مرکزی سیستم‌های الکترونیکی و روباتیک که نقش اساسی در تحلیل اطلاعات، تصمیم‌گیری و کنترل عملکرد سیستم دارد. این واحد با دریافت داده‌ها از حسگرها، اجرای الگوریتم‌های کنترلی و ارسال فرمان به محرک‌ها، باعث ایجاد عملکرد هوشمند در سیستم روبات می‌گردد. وظایف اصلی واحد پردازش در نمودار ۱ به‌طور خلاصه معرفی شده است.

پردازش اطلاعات دریافتی از حسگرها

اجرای برنامه‌ها و دستورالعمل‌ها

ارسال فرمان به بخش‌های اجرایی مانند محرک‌ها و موتور

تصمیم‌گیری و کنترل عملیات سیستم

مدیریت ارتباط بین اجزای مختلف سیستم

نمودار ۱- وظایف اصلی واحد پردازش

۱-۲-۱۰. معماری و ساختار داخلی واحد پردازش

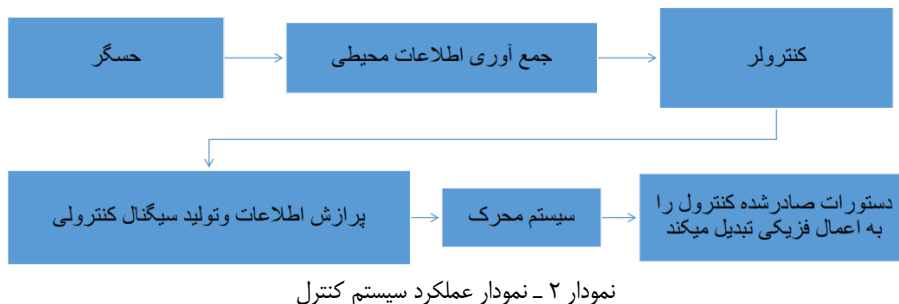
معماری داخلی واحد پردازش شامل پنج بخش اصلی است:

۱. **واحد محاسبه و منطق (ALU):** این واحد عملیات ریاضی و منطقی را انجام می‌دهد و نقش آن در سیستم رباتیک، محاسبه فاصله تا مانع، سرعت و زاویه حرکت روبات می‌باشد.
۲. **واحد کنترل:** وظیفه هماهنگی میان اجزاء، مدیریت دستورالعمل‌ها و کنترل جریان مدارها را بر عهده دارد. نقش واحد کنترل در رباتیک، مدیریت زمان پاسخ روبات و اجرای الگوریتم‌های حرکت است.
۳. **حافظه داخلی:** حافظه برای ذخیره داده‌ها و دستورالعمل‌ها استفاده می‌شود.
۴. **ثبات‌ها:** ثبات‌ها حافظه‌های بسیار سریع و کوچکی هستند که برای ذخیره داده‌های موقت و میانی استفاده می‌شوند. نقش علمی آن‌ها ذخیره مختصات فعلی روبات، سرعت و زاویه حرکت در هر چرخه پردازش می‌باشد.
۵. **واحد ارتباط با ورودی و خروجی:** تبادل داده میان حسگرها و محرک‌ها را انجام می‌دهد.

۱-۳-۱۰. سیستم کنترل (Control System)

سیستم کنترل یکی از اجزای حیاتی در مهندسی رباتیک و سیستم‌های الکترونیکی هوشمند است که وظیفه تنظیم و هدایت عملکرد سیستم‌ها را بر پایه ورودی‌ها بر عهده دارد. سیستم کنترل با دریافت داده از حسگرها، پردازش آن‌ها و تولید سیگنال‌های کنترلی برای محرک‌ها، امکان عملکرد دقیق، پایدار و هوشمند را فراهم می‌کند. از این سیستم‌های کنترل در سیستم رباتیک در بخش‌های روبات‌های خطوط تولید هوشمند، روبات‌های خودران (حفظ مسیر و جلوگیری از برخورد)، سیستم‌های فضایی (کنترل پرواز

پهپاد و هواپیما) و خانه هوشمند (کنترل درجه حرارت، روشنایی، امنیت و غیره) استفاده می‌گردد. در کل، عملکرد سیستم کنترل (اتوماتیک) در نمودار ۲ به‌طور فشرده معرفی شده است.



۴-۱۰. سیستم محرک‌ها (Actuator Subsystem)

سیستم محرک عبارت است از مجموعه‌ای از سازوکارها که سیگنال الکتریکی را به یک حرکت فیزیکی تبدیل می‌کند. انتخاب گونه محرک بر پایه کاربرد، دقت، سرعت و نیرو، نقش تعیین کننده‌ای در عملکرد روبات دارد. عملکرد سیستم محرک بر پایه تعامل هماهنگ اجزا انجام می‌شود: واحد کنترل فرمان حرکت را صادر می‌کند، درایور سیگنال الکتریکی را تقویت می‌کند، محرک انرژی الکتریکی را به حرکت تبدیل می‌کند، سیستم انتقال مکانیکی حرکت را منتقل می‌کند و سیستم‌های بازخورد اطلاعات عملکرد را ارسال می‌کند.

۵-۱۰. سیستم ارتباطات (Communication System)

سیستم ارتباطی مجموعه‌ای از اجزاست که داده‌ها و اطلاعات را میان بخش‌های گوناگون یک سیستم یا میان چند سیستم انتقال می‌دهد. این سیستم‌ها می‌توانند سیمی یا بی‌سیم باشند. اجزای اصلی سیستم ارتباطی در جدول ۵ معرفی شده است.

جدول ۵ - اجزای اصلی سیستم ارتباطی

بخش اصلی	وظیفه تخصصی	مثال عملی در روباتیک و سیستم‌های الکترونیکی
ماژول ارتباطی	ارسال و دریافت داده‌ها	ماژول Wi-Fi، بلوتوث
کانال انتقال	مسیر سیمی یا بی‌سیم داده‌ها	کابل CAN، فیبر نوری، شبکه RF
پروتکل ارتباطی	مدیریت قالب‌بندی، صحت و زمان‌بندی داده‌ها	CAN، Modbus، TCP/IP

بخش اصلی	وظیفه تخصصی	مثال عملی در رباتیک و سیستم‌های الکترونیکی
واحد پردازش	رم‌گشایی و پردازش داده‌های دریافتی	CPU، میکروکنترلر

۶-۱۰. منبع تغذیه (Power Supply)

منبع تغذیه، بخش حیاتی هر سیستم الکترونیکی و رباتیک است که وظیفه تأمین ولتاژ و جریان مناسب برای همه اجزای مدار را بر عهده دارد. انتخاب و طراحی مناسب سیستم تغذیه باعث عملکرد پایدار، افزایش طول عمر قطعات و کاهش خطاهای عملکرد روبات می‌شود.

۱۱. یافته‌های تحقیق

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که گونه معماری سیستم‌های الکترونیکی تأثیر مستقیم بر عملکرد، پایداری و بهره‌وری روبات‌های هوشمند دارد. تحلیل مقایسه‌ای معماری‌های متمرکز، توزیع‌شده، ماژولار و ترکیبی نشان داد که معماری‌های نوین، به‌ویژه ساختارهای ترکیبی و توزیع‌شده، توانایی بیشتری در مدیریت پردازش بلادرنگ، کاهش تأخیر و افزایش قابلیت اطمینان دارند [۵-۱].

نتایج تحلیل عملی نشان می‌دهد که استفاده از معماری ماژولار و ترکیبی موجب بهبود هماهنگی میان حسگرها، واحدهای پردازش و سیستم‌های کنترل شده و کارایی روبات را در انجام وظایف پیچیده افزایش می‌دهد. این ساختارها با کاهش تداخل داده‌ها و توزیع مناسب پردازش، سرعت تبادل اطلاعات و دقت تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشند [۶-۱۰]. همچنین معماری‌های توزیع‌شده با تقسیم وظایف پردازشی میان چندین واحد مستقل، زمان پاسخ‌دهی سیستم را کاهش داده و امکان پردازش هم‌زمان داده‌های حسگری را فراهم می‌سازند که در روبات‌های خودمختار و محیط‌های پویا اهمیت ویژه‌ای دارد [۱۱-۱۵].

از دیدگاه مدیریت انرژی، یافته‌ها نشان می‌دهد که معماری‌های ماژولار و توزیع‌شده با حذف پردازش‌های غیرضروری و مدیریت هوشمند منابع، مصرف انرژی را کاهش داده و مدت زمان عملکرد روبات را افزایش می‌دهند [۱۶-۱۸]. افزون‌براین، تحلیل قابلیت اطمینان نشان می‌دهد که در معماری‌های توزیع‌شده و ترکیبی، خرابی یک زیرسیستم باعث توقف کامل عملکرد روبات نمی‌شود و سایر بخش‌ها می‌توانند به فعالیت خود ادامه دهند؛ در نتیجه پایداری و تحمل خطای سیستم افزایش می‌یابد [۱۹-۲۱].

یکی از یافته‌های مهم این تحقیق، ارائه رویکرد معماری چندلایه هوشمند برای حل مشکلات پردازش، هماهنگی و توسعه‌پذیری در روبات‌های نسل جدید است. در این رویکرد، پردازش‌های سطح بالا توسط واحد مرکزی مبتنی بر هوش مصنوعی انجام شده و وظایف کنترلی محلی به زیرسیستم‌های توزیع‌شده واگذار می‌گردد. این ساختار ضمن کاهش بار پردازشی، امکان توسعه تدریجی سیستم، افزودن حسگرهای جدید و ارتقای ماژول‌های کنترلی را بدون تغییر ساختار اصلی فراهم می‌سازد [۲۲-۲۵].

در مجموع، نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از معماری‌های ترکیبی، ماژولار و مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند راهکار مؤثری برای حل مشکلات پیچیدگی، مصرف انرژی، تأخیر پردازشی و کاهش قابلیت اطمینان در روبات‌های هوشمند باشد و زمینه توسعه سیستم‌های روباتیک پیشرفته و خودمختار را فراهم سازد.

۱۲. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای طراحی علمی و عملی روبات‌های هوشمند، لازم است هم‌زمان به معماری سیستم، واحد پردازش، حسگرها، سیستم محرک، سیستم ارتباطات و منبع تغذیه توجه جدی شود تا روبات بتواند داده‌ها را پردازش کرده، تصمیم‌گیری کند و عمل را با دقت و پاسخ سریع انجام دهد. بر پایه نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب معماری مناسب سیستم‌های الکترونیکی نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود عملکرد و کارایی روبات‌های هوشمند دارد. معماری متمرکز با وجود سادگی ساختاری، برای کاربردهای پیچیده و سیستم‌های روباتیک پیشرفته محدودیت‌هایی دارد. در برابر، معماری‌های توزیع‌شده و ماژولار به دلیل افزایش سرعت پردازش، بهبود قابلیت اطمینان، کاهش مصرف انرژی و افزایش انعطاف‌پذیری، گزینه‌های مناسب‌تری برای طراحی سیستم‌های روباتیک هوشمند به شمار می‌روند.

همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که معماری ترکیبی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار بهینه در طراحی سیستم‌های الکترونیکی روباتیک مورد استفاده قرار گیرد؛ زیرا این معماری قادر است مزایای معماری‌های گوناگون را به‌صورت هم‌زمان فراهم سازد. استفاده از این معماری موجب بهبود عملکرد بلادرنگ، افزایش پایداری سیستم و توسعه‌پذیری ساختاری روبات‌های هوشمند می‌گردد.

در مجموع، این تحقیق چارچوبی علمی و کاربردی برای انتخاب و طراحی معماری سیستم‌های الکترونیکی در روباتیک هوشمند ارائه می‌دهد و نتایج آن می‌تواند در توسعه نسل جدید روبات‌های خودمختار، سیستم‌های صنعتی هوشمند و کاربردهای پیشرفته روباتیک مورد استفاده قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود در تحقیق‌های آینده، تأثیر فناوری‌های نوین مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و سیستم‌های یادگیری ماشین بر بهینه‌سازی معماری سیستم‌های روباتیک بررسی شود.

منابع و مراجعها

1. Corke, P. (2021). *Robotics, Vision and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB* (3rd ed.). Cham, Switzerland: Springer.
2. Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., & Oriolo, G. (2020). *Springer Handbook of Robotics* (2nd ed.). Cham, Switzerland: Springer.
3. LaValle, S. M. (2021). *Planning Algorithms*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
4. Niku, S. B. (2020). *Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications* (4th ed.). Hoboken, NJ, USA: Wiley.
5. Craig, J. J. (2021). *Introduction to Robotics: Mechanics and Control* (4th ed.). Pearson.
6. Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Scaramuzza, D. (2021). *Introduction to Autonomous Mobile Robots* (2nd ed.). MIT Press.
7. Dudek, G., & Jenkin, M. (2020). *Computational Principles of Mobile Robotics* (2nd ed.). Cambridge University Press.
8. Khatib, O., Siciliano, B., & Villani, L. (2020). *Human--Robot Interaction and Control*. In *Springer Handbook of Robotics* (2nd ed.).
9. Goldberg, K., & Kehoe, B. (2023). *Cloud Robotics and Distributed Intelligence Systems*. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 30(1).
10. Quigley, M., et al. (2022). *ROS 2: Architecture for Modern Robotics Systems*. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 7 (2).
11. Wang, Y., Han, D., & Kim, S. (2023). *Hybrid Control Architecture for Intelligent Mobile Robots*. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 19 (3).
12. Emad, B., Ali, A. A., & Zhang, H. (2022). *Cloud Robotics: Recent Advances and Challenges*. *IEEE Access*, 10.
13. Haddadin, S., & Croft, E. (2022). *Safety in Physical Human--Robot Interaction*. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 5.
14. Alami, A. R., et al. (2023). *Human-Aware Task Planning in Robotics: Recent Advances*. *Artificial Intelligence Review*, 56.
15. Gupta, L., Ghonge, M., & Jawandhiya, P. (2021). *Survey on Mobile Robot Navigation Techniques*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 12.
16. Lee, J., & Tsai, L. (2022). *Advanced Modeling and Control of Robot Manipulators*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 170.
17. Murphy, R. (2022). *Field Robotics for Disaster Response Systems*. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 29(4).
18. Barrientos, A., Aracil, R., & Balaguer, C. (2020). *Fundamentals of Robotics and Mechatronics* (2nd ed.). McGraw-Hill.
19. Raibert, M. H., et al. (2022). *Dynamic Legged Robots: Control and Autonomy*. *Science Robotics*, 7.
20. Fox, D., Burgard, W., & Thrun, S. (2023). *Probabilistic Robotics Methods in Modern Systems*. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 8.
21. Latombe, J. C. (2021). *Robot Motion Planning: Modern Approaches*. Springer.

22. Carpin, S., & Khatib, O. (2023). Multi-Robot Coordination Systems. IEEE Robotics and Automation Magazine, 30.
23. Choset, H., et al. (2022). Principles of Robot Motion (Updated ed).
24. Howard, A. (2023). Autonomous Robotics Systems and Applications. IEEE Access, 11.
25. Li, M., & Zhao, Y. (2024). Deep Learning in Robotics Control Systems: A Survey. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 35.