

كيف تبني "روبوت" حقيقي؟

١٨- برمجة الروبوتات الصناعية

د. علاء خميس
الجامعة الألمانية بلقاهرة

من الممكن ظهور الروبوتات التي نعرفها اليوم والتي سوف نعرفها أكثر في المستقبل بمعدل عما يجري من تطور في الكيانين المادي والبرمجي للحاسبات التي تعتبر العقل المسيطر للروبوت.. باعتبارها الإطار المادي التي تتفاعل داخله البرامج وتقنيات الذكاء الاصطناعي مع البيانات الواردة من المستشعرات.. لتنتهي بسيل من الأوامر والنواه التي تتحكم في كل حركة من حركات الروبوت.

- تقسيم الروبوتات الصناعية طبقاً لعدد المعالجات:

يمكن تقسيم الروبوتات الصناعية حسب عدد المعالجات المستخدمة كالتالي:

أ- روبوتات أحادية المعالج Uni-processor: وفيها يتم استخدام معالج واحد لكل المنظومة الروبوتية.

ب- روبوتات متعددة المعالجات Multi-processor: وفيها يتم استخدام معالج مستقل لكل محور من محاور التحكم كما في حالة الروبوت PUMA 560.

ج- روبوتات ثنائية المعالج Bi-processor: وفيها يتم استخدام معالج مركزي بالإضافة إلى معالج لمحاور التحكم كما في حالة الروبوت ABB S3.

د- روبوتات ثلاثية المعالج Tri-processor: وفيها يتم استخدام معالج مركزي بالإضافة إلى معالج لمحاور التحكم ومعالج للاتصال بالأجهزة الأخرى في خلية العمل. وتعمل هذه المعالجات على تنفيذ خطوات برنامج التحكم التي تشمل على العمليات Processes التي على الروبوت القيام بها لإنجاز مهمة ما.

- درجات الأولوية للعمليات:

يتم تنفيذ أوامر البرنامج حسب درجة أولوية كل عملية (عالية - متوسطة - منخفضة) كالتالي:

أ- عمليات بدرجة أولوية عالية:

وتشمل العمليات المتعلقة بالسلامة في المصنع وأوامر التوقف عند الطوارئ وأوامر التحكم المتزامن في محاور الحركة والتي يجب أن تتم بسرعة (١٠-٥٠ ميكروثانية/ محور)

الحركة والتوجيه للروبوت. ويمكن تلخيص المهام التي تقوم بها وحدة التحكم في روبوت صناعي كالتالي:

أ- المناولة Manipulation: وتعني التحكم في حركة كل مفاصل الروبوت بما في ذلك التحكم في موضع وسرعة ومسار الذراع الروبوتية خلال كل الخطوات التي يجب على الروبوت أدائها للقيام بمهمة معينة.

ب- الاستشعار Sensing: وتعني تجميع المعلومات عن بيئة العمل التي تم اكتسابها عن طريق مستشعرات الحالة الداخلية (الموضع والسرعة والقوى والعزم... الخ) ومستشعرات الحالة الخارجية (حالة خلية العمل) المزود بها الروبوت.

ج- الذكاء Intelligence: وهي القدرة على استخدام المعلومات التي تم تجميعها لتغيير مسار الروبوت للتفاعل مع أي تغير في بيئة العمل مثل تجنب الاصطدام بالعوائق.

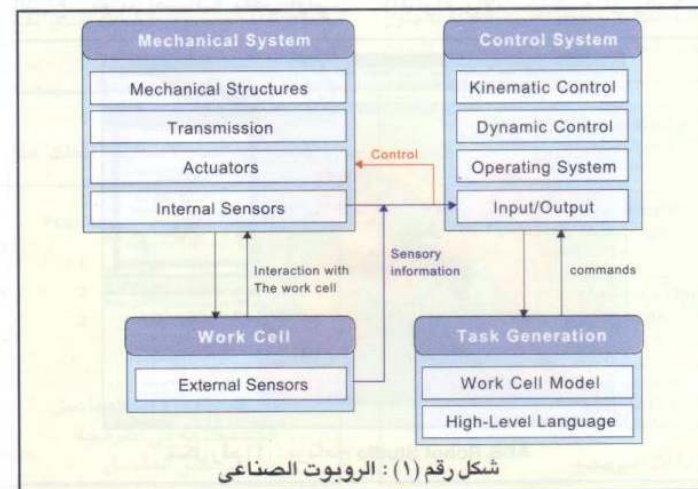
د- معالجة البيانات Data Processing: وهي القدرة على استخدام قواعد البيانات والاتصال بآلات ذكية أخرى مثل ماكينات التحكم العددي بالحاسب Computer Numerical Control (CNC). ويتضمن هذا أيضاً القدرة على تسجيل نشاط الروبوت وإنتاج تقارير.

ويمكن لوحدة التحكم في الروبوتات الحديثة تحقيق كل هذه المهام بفضل حالة التزاوج بين الحاسب والذراع الميكانيكي.. فلم يكن

المستخدم في اللحام النقطي بالدقة ودرجة التكرارية العالية.. بالإضافة إلى القدرة على التوافق مع متغيرات خط الانتاج. وكمثال على خطوط اللحام النقطي الروبوتية التي تستخدم على نطاق واسع في صناعة السيارات.. تلك التي جهزت بها شركة «دوج» الأمريكية عام ١٩٨٠ لإنتاج ١٧٥٠ سيارة/يوم.. حيث تضم ٣٦ روبوت لحام نقطي تقوم ٨ منها بلحام البراشيم و٤ باللحام النقطي حول الأبواب.. و٢٤ روبوت آخر لإنجاز أكثر من ٧٠٠ نقطة لحام في خط إعادة اللحام. وفي بعض الأحيان.. تتطلب ظروف الإنتاج إنجاز نفس اللحامات - بمعدل ١٧٥٠ جسم سيارة/يوم خلال خمس أو أربع سنوات بدون تغيير.. وهو ما يعتبر استخداماً سيئاً للروبوت.. حيث أن هذا العمل يمكن إنجازه بواسطة معدات لحام متعددة Multi-Welders.. إلا أن أي تغييرات لاحقة في تصميم السيارة في هذه الحالة ستطلب تغييراً في الكيان المادي لخط الإنتاج وهو ما سيؤدي إلى تعطيل الإنتاج بالإضافة إلى ما يتطلبه ذلك من تكلفة كبيرة.. بينما يتيح استخدام روبوتات لحام.. مجرد إعادة برمجة الروبوتات لتتواءم مع التغييرات الجديدة في تصميم السيارة.

وحدة التحكم

تعتبر وحدة التحكم.. هي عقل الروبوت الذي يتحكم في هيكله - شكل رقم (١)- ويصدر أوامر



شكل رقم (١): الروبوت الصناعي

قام معهد الروبوت الأمريكي بتعريف الروبوت الصناعي.. على أنه معالج ميكانيكي متعدد المهام وقابل لإعادة البرمجة ومصمم لنقل المواد من خلال حركات مبرمجة ومختلفة لتأدية مهام متعددة. كما عرفت المنظمة الدولية للتقييس International Organization for Standardization (ISO) الروبوت الصناعي.. على أنه آلة يمكن إعادة برمجتها وذات أغراض متعددة ولها درجات حرية حركة متعددة. من هذين التعريفين يتضح لنا أن القدرة على البرمجة وإعادة البرمجة.. من أهم الخصائص التي تميز التقنيات الروبوتية عن غيرها. وكانت هذه الآلة - في بداية مراحل تطوير الروبوتات الصناعية - عبارة عن ذراع هيدروليكي يستطيع القيام بعدد محدود من المهام بسبب قدرتها المحدودة في ذلك الوقت على إعادة برمجتها. وتعتبر روبوتات اليوم.. أكثر مرونة وقابلية لإعادة البرمجة للقيام بأعمال مختلفة بفضل وحدات التحكم الحديثة التي تستخدم المعالجات الدقيقة وتقنيات الذكاء الاصطناعي لمعالجة البيانات الاستشعارية واتخاذ قرارات حسب نتيجة هذه المعالجة للتفاعل مع التغيرات في بيئة العمل. وبناءً على طلب السوق.. يمكن إعادة برمجة الروبوت للتعامل مع أي تعديلات ثانوية أو كلية في المنتجات. وفي اللحام النقطي أو البقعي Spot Welding لأجسام السيارات على سبيل المثال والذي يعتبر أحد أهم تطبيقات الروبوتات الصناعية.. يجري وصل الألواح المعدنية بعضها ببعض بواسطة الصهر الموضعي في نقاط (بقع) اللحام وذلك بأمرا تيار كهربائي عالي الشدة خلال هذه النقاط.. مصحوباً بتسليط ضغط في مواضع اللحام بالكترودين من النحاس أو من سبائك النحاس يؤثر عليهما جهد منخفض لإحداث التلاحم المطلوب. ويؤدي مرور التيار الكهربائي.. إلى تولد كمية كافية من الحرارة في مواضع التلامس بحيث يندمج المعدن المصهور في كلا اللوحين مكوناً اتصالاً متجانساً بينهما. ويجب أن يتميز الروبوت



```

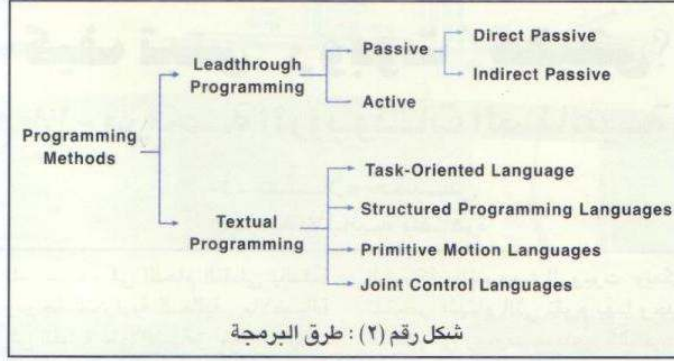
PROGRAM DEMO
10 OPENI
20 SPEED 10 MMPS ALWAYS
30 MOVE #A
40 WATT SIG (1001)
50 SPEED 80 MMP S
60 APPRO B,50
70 MOVES #B
80 BREAK
90 CLOSE
100 SPEED 80 MMPS
110 DEPARTS B,50
120 MOVE D
130 SPEED 80 MMPS
140 APPRO C,50
150 MOVES #C
160 OPEN I
170 DEPARTS 50
END

```

شكل رقم (٣): لغة VAL

ومعالجة البيانات) مثل لغة A Man-ufacturing Language (AML) التي ابتكرتها شركة IBM. ولغة Robot-ics Application Programming Interactive Dialogue (RAPID) التي ابتكرتها شركة ABB لبرمجة روبوتاتها. كما ظهرت كثير من البرامج المتكاملة للتصميم والبرمجة والمحاكاة مثل COSIMIR لشركة Festo و RobotStudio لشركة ABB - شكل رقم (٤). توجد أيضاً حزم برامج جاهزة للمساعدة في محاكاة الروبوتات الصناعية وحل مشكلتي الكينماتيكا الأمامية والعكسية (انظر العدد ٨٥) مثل SPACELIB و Dymola بالإضافة إلى Matlab Robotics Toolbox.

ومن الجدير بالذكر... أن شركة «ميكروسوفت» أعلنت مؤخراً عن إنتاجها برنامج "ميكروسوفت روبوتيكس ستوديو" MS-Robotic Studio الذي يعتبر أول برنامج يعكس استثمار «ميكروسوفت» في سوق يعتقد رئيسها «بيل جيتس» وآخرون أن له إمكانات نمو وازدهار لا تقل عن النمو والازدهار الذي شهده سوق أجهزة الكمبيوتر الشخصي في السابق. يتضمن برنامج «روبوتيكس ستوديو» الذي يعمل على نظام تشغيل Windows XP بيئة برمجة.. بالإضافة إلى محاكي يسمح للمستخدمين ببناء نماذج افتراضية للروبوتات مع اختبار كيفية تعامل البرامج مع هذه الروبوتات. ولإثبات السمات المتطورة التي يوفرها «روبوتيكس ستوديو».. عرضت شركة «كوكا روبات» وهي شركة ألمانية متخصصة في إنتاج الروبوتات الصناعية الكبيرة.. كيفية عمل برامج وظفت فيها أدوات «ميكروسوفت» لتشغيل مختلف أنواع الروبوتات.



شكل رقم (٢): طرق البرمجة

التفرع المشروط Conditional Branching وأوامر الوصلات البنائية لإتاحة الفرصة لاستخدام وحدات إدخال وإخراج مختلفة. من أمثلة هذه اللغات الأولية.. لغة T3 التي ابتكرتها شركة «سينسناتي ميلاكرون» لبرمجة الروبوتات المنتجة بواسطتها. وقد وفرت هذه اللغة القدرة على برمجة الروبوت للتحكم في حركته.. ولكن كان من عيوبها عدم تشابهها مع أي من لغات البرمجة المعروفة مما يصعب تعلمها.. بالإضافة إلى عدم القدرة على معالجة البيانات. وابتكرت شركة «يونيمشن» لغة نصية اسمتها VAL (Victors Assembly Language) نسبة إلى مبتكرها (انظر العدد ٨٥) واستخدمتها في روبوتاتها من طراز PUMA. وقد تميزت لغة VAL بالتشابه الكبير مع لغات المستوى العالي متعددة الأغراض لبرمجة الحواسيب في ذلك الوقت مثل BA-SIC كما هو مبين بالشكل رقم (٣).. مما ساعد على انتشارها. وقد أعيد تطوير هذه اللغة وظهرت مرة أخرى تحت اسم VAL-II.

وحالياً.. توجد كثير من لغات البرمجة متعددة الأغراض للروبوتات.. توفر إمكانية القيام بالمهام الأربع المذكورة سالفاً (المنالة والاستشعار والذكاء

عدم المرونة في عملية إعادة البرمجة بالإضافة إلى الصعوبة التي يواجهها العامل الذي يقوم بتدريب الروبوت بسبب ثقل الذراع الروبوتي. أما الطريقة الثانية لبرمجة الروبوتات الصناعية.. فهي البرمجة النصية عن طريق كتابة برنامج باستخدام إحدى لغات البرمجة المشار إليها في الفقرة التالية. وطبقاً للطريقة المتبعة في إرسال البرنامج إلى وحدة التحكم وتنفيذه.. تقسم طرق البرمجة إلى طريقتين:

أ - البرمجة الفورية On-line Programming

وفيها يتم إيقاف الروبوت عن العمل وضبطه في نمط البرمجة.. ثم يتم إرسال أوامر التشغيل من خلال برنامج معين يرسل إلى وحدة التحكم للحصول على تتابع الحركة المرغوب.

ب - البرمجة خارج الخط Off-line Programming

وتتم من خلال كمبيوتر متصل بالروبوت باستخدام برنامج محاكاة.. وبالتالي يمكن للروبوت الاستمرار في أداء مهمته حتى الانتهاء من إعداد البرنامج وإرساله إلى وحدة التحكم.

تطوير لغات البرمجة

في البداية.. صممت لغات برمجة الروبوتات الصناعية لإصدار أوامر تتابعية بسيطة للتحكم في حركة الذراع.. ثم تم إضافة بعض أوامر

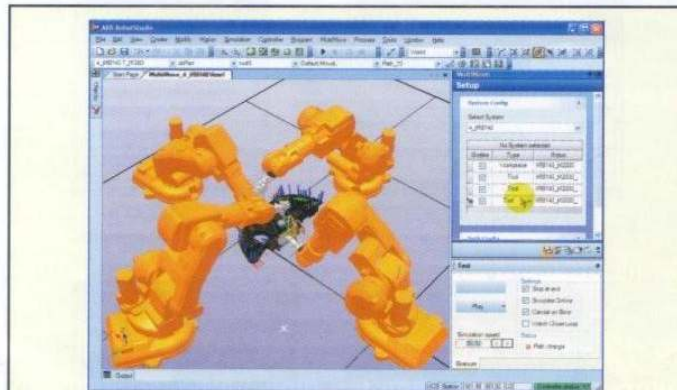
ب - عمليات بدرجة أولوية متوسطة: وتشمل أوامر منظومة التشغيل وتفسير لغة البرمجة وحسابات مسار الحركة (١-٦ مللي ثانية) وأوامر الإدخال والإخراج وأوامر الاتصال بشبكة النطاق المحلي.

ج - عمليات بدرجة أولوية منخفضة: وتشمل أوامر التفاعل مع وحدة البرمجة ووحدة التحرير Editor والاتصال بوحدة الذاكرة.. بالإضافة إلى أوامر إظهار قيم المتغيرات وأوامر المحاكاة.

وحالياً.. فإن معظم الروبوتات تكون مبرمجة مسبقاً لأداء مهام محددة.. حيث تقوم وحدة التحكم بتنفيذ برنامج التحكم لأداء مهام معينة يمكن تغييرها بإعادة برمجة الروبوت. وفي المستقبل.. ومع التوسع في إدخال تقنيات الذكاء الاصطناعي في وحدات التحكم.. سوف يمكن للروبوتات القيام بمهام لم يتم برمجتها عليها.. بل وبرمجة نفسها.. وحينئذ سيكون للروبوتات ذاتية أكثر.

طرق البرمجة

يوضح الشكل رقم (٢) طرق برمجة الروبوتات الصناعية. وعادة ما تعتمد منظومات التحكم في الروبوتات الصناعية على قيام المشغل البشري بتلقين أو إرشاد الروبوت بكيفية القيام بعملية ما من خلال حركات تتابعية يتم برمجتها وتخزينها في ذاكرة وحدة التحكم.. وهو ما يسمى بالبرمجة بالإرشاد أو Lead-through أو Walkthrough - انظر العدد السابق. وإذا تم القيام بعملية البرمجة المحمولة باستخدام لوحة تلقين Teach Pendant.. فإنها تسمى بالبرمجة النشطة Active. أما إذا جرى تلقين الروبوت عن طريق التحكم المباشر في الأداة الطرفية لتدريبه على القيام بتتابع محدد من العمليات في دورة تشغيل جاف (بدون إنتاج).. فإن البرمجة تسمى بالمباشرة. وأثناء ذلك.. يؤمر الروبوت بتذكر كل الحركات التي تعلمها خلال مرحلة التلقين وتكرارها عندما يطلب منه ذلك. وفي حالة استخدام ذراع روبوتي - يسمى بذراع التدريب له نفس الخواص الميكانيكية ولكنه أخف - لتلقين الروبوت.. تسمى البرمجة في هذه الحالة بالبرمجة الكامنة غير المباشرة. يعيب طريقة البرمجة بالتلقين..



شكل رقم (٤): برنامج ABB Robot Studio

تقسيم لغات البرمجة

يمكن تقسيم لغات برمجة الروبوتات الصناعية حسب المستوى الذي يتفاعل عنده المبرمج مع المنظومة الروبوتية. على سبيل المثال.. إذا كان على المبرمج تحديد زوايا مفاصل الذراع الروبوتى فى كل حركة.. تكون لغة البرمجة من لغات المستوى المنخفض وذلك بالمقارنة باللغة التى تسمح للمبرمج بإعطاء أوامر شبيهة باللغة الطبيعية التى نتكلم بها مثل امر Pick up the Part لجعل روبوت تجميع يلتقط جزء ما. على هذا الأساس.. تم تقسيم لغات البرمجة النصية الى أربعة مستويات كما هو مبين بالشكل رقم (٥).

أ - لغات التحكم فى المفاصل Joint Control

تركز لغات هذا المستوى المنخفض على التحكم فى حركة الروبوت بالتحكم المباشر فى الوصلات. تحتوى أوامر البرنامج على التغيير الزاوى المطلوب فى المفاصل الدورانية أو الامتداد المطلوب فى حالة المفاصل المشورية (انظر العدد ٨٦). وعادة.. لا توفر لغات هذا المستوى أوامر للتفاعل مع بيئة العمل لتعريف وحدات إدخال أو إخراج أو لتبادل معلومات أو لمعالجة بيانات. تتطلب لغات هذا المستوى قيام المستخدم بالبرمجة فى حيز المفصل joint-Space بإدخال زوايا المفاصل المطلوبة فى كل نقطة من النقاط التى يجب المرور بها لأداء مهمة ما كما هو موضح بالشكل رقم (٦).

تستخدم لغات هذا المستوى فى بعض الروبوتات التى يتم التحكم فيها باستخدام التحكم من نقطة إلى أخرى وفى معظم الروبوتات الهوائية والهيدروليكية التى تستخدم التحكم من توقف إلى توقف (انظر العدد السابق).

ب - لغات المستوى الحركى Primitive Motion

تسمى لغات هذا المستوى فى بعض الأحيان.. بلغات التحكم من نقطة إلى نقطة.. وهى تعتمد على البرمجة الفورية On-line.. وتتشترك فى الخصائص التالية:

- الحصول على نقطة مبرمجة بتحريك الروبوت بواسطة لوحة تلقين أو عصا تحكم Joystick إلى الموضع المرغوب.. ثم الضغط على زر البرمجة لتخزين موضع هذه النقطة. بتكرار هذه العملية.. يمكن الحصول على تتابع من النقاط يشكل المسار الذى يجب على الروبوت المرور بها لاحقاً عند تنفيذ البرنامج لأداء مهمة ما.

- استخدام الإحداثيات الكارتيزية أو الاسطوانية فى مرحلتى التلقين والبرمجة.

- توفير أوامر وصلات بينية للاتصال والتفاعل مع بيئة أو خلية العمل.

- الاحتواء على أوامر تفرع مشروط.. وتوفير إمكانية كتابة بعض البرامج الفرعية البسيطة.

من أمثلة لغات هذا المستوى.. لغة "RAIL" التى ابتكرتها شركة "أوماتكس" ولغتي "T3" و "RobTalk" لشركة "ريهنو" ولغة "RPL" من شركة "وستنجهوس".. بالإضافة إلى لغة "VAL" من أمثلة الأوامر الشائعة فى لغات هذا المستوى.. أمر تحرك MOVE الذى يحدد تتابع الحركات.. أو أمر انتظر إشارة WAIT, SIGN الذى يحدد إمكانية استقبال إشارات داخلة أو خارجة - شكل رقم (٣).

ج - لغات البرمجة الهيكلية Structured Programming

يحتوى هذا المستوى على لغات شبيهة بلغات البرمجة الهيكلية المستخدمة فى الحاسبات مثل «الباسكال». وتمتاز عن سابقتها بتجاوز أغلب العيوب التى حدثت من إمكانيات

جدول رقم (١) : لغات البرمجة			
Origin	Level 2	Level 3	Level 4
Adept		V V+	
Automatix	RAIL		
Cincinnati Milacron	T3		
General Electric		HELP	
GMFanuc		KARL	
IBM		AML AML/E	AUTOPASS
ABB		RAPID	
McDonnell Douglas		MCL	
Rhino	RoboTalk		
Seiko		DARL II	
Westinghouse	RPL		
Unimation	VAL	VAL II	

المستوى.. إخفاء كل التعقيدات المتمثلة فى أوامر وبنية البرنامج. وتتشترك لغات هذا المستوى فى الخصائص التالية:

- توفير إمكانية إدخال أوامر تحكم قريبة إلى حد كبير من لغة المحادثة الطبيعية بين البشر.. مثل "ضع الغرض ١ فوق الغرض ٢" Place Object 1 over Object 2.

- تحتوى لغات هذا المستوى على برامج فرعية لتجنب الاصطدام بالعوائق.. مما يسمح بحرية حركة بدون حوادث.

- إمكانية إعادة تخطيط مسار الحركة لتجنب أى حالات غير مرغوبة باستخدام خاصية تكوين خطة المسار Path Plan Generation.

- تسمح منظومة النمذجة فى لغات هذا المستوى.. بإمكانية تتبع الأغراض. وحتى الآن.. لا توجد لغة على نطاق تجارى توفر كل هذه

الإمكانيات.. ولكن المحاولات البحثية لا تتوقف للحصول على لغة برمجة تتمتع ببعض سمات هذا المستوى.

من أمثلة هذه اللغات.. لغة "أوتوباس" Automatic Programming System for Mechanical Assembly (AUTOPASS) التى ابتكرتها شركة IBM.

العدد القادم:
- أسس البرمجة
- كتابة برنامج بلغة «ريبيد»

لغات المستوى الحركى. وتتشترك هذه اللغات فى الخصائص التالية:

- الاحتواء على تركيبات ذات تحكم بنوى.

- إمكانية استخدام التحويلات بين منظومات الإسناد المختلفة لحل مشكلتي الكينماتيكا الأمامية والعكسية.

- تحسين أوامر تجميع بيانات المستشعرات وتوفير إمكانية المعالجة الموازية Parallel Processing.

- السماح باستخدام متغيرات حالة فى البرنامج.. وهى متغيرات المنظومة الروبوتية التى تعتمد قيمتها على حالة أو موضع المنظومة.

- الاحتواء على أوامر تفرع مشروط.. وتوفير إمكانية كتابة البرامج الفرعية.

- إمكانات الذكاء الاصطناعى المحدودة. ويشمل ذلك إمكانية استخدام المعلومات المرتدة من البيئة المحيطة فى تحسين سلوك المنظومة بواسطة البرمجة.

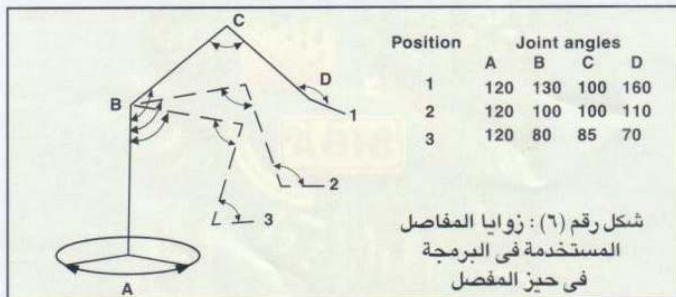
- توفير إمكانية الاتصال مع شبكة نطاق محلي Local Area Network (LAN).

- إمكانية استخدام البرمجة خارج الخط Off-line.

يوضح الجدول رقم (١) بعض لغات هذا المستوى الثالث الذى تقع فيه لغات البرمجة الهيكلية.

د - اللغات الموجهة للمهمة Task-Oriented

تعتبر الوظيفة الأساسية للغات هذا



Level 4	Task-oriented Languages	Place object 1 on object 2
Level 3	Structured Languages	If qmonitor eq 0 then begin . else
Level 2	Primitive Motion Languages	Approach hole, 100.0 Move hole
Level 1	Joint Control Languages	Print "D50"

شكل رقم (٥) : تقسيم لغات البرمجة