

كيف تبني "روبوت" حقيقي؟

١٧- التحكم الحركي في الأذرع الروبوتية Motion Control

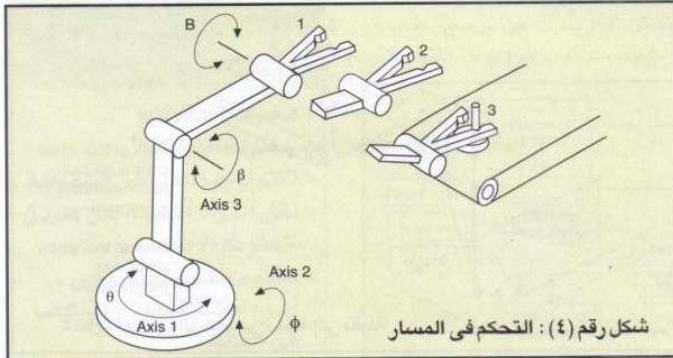
د. علاء خميس

الجامعة الألمانية - القاهرة

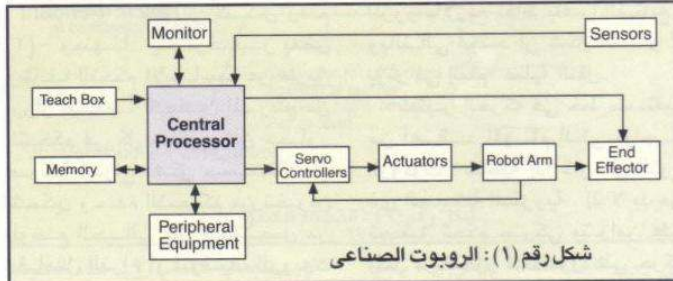


شكل رقم (٢): لوحة تلقين الروبوت

ويجب تخزين أقل كم من المعلومات.. حتى يمكن للروبوت الوصول إلى هذه النقاط الثلاث. وعادة ما يكون موضع كل مفصل نقطة مركز الإداة المراد الوصول إليها. وكما أوضحنا في المقال السابق.. تستخدم كينماتيكا الروبوت الأمامية والعكسية في الحصول على العلاقة بين موضع نقطة مركز الأداة والموضع الزاوية أو الخطية لمفاصل الذراع.. وذلك بمعلومية أطوال الوصلات الميكانيكية للذراع. يتم تمثيل مواضع المفاصل بأشكال مختلفة حسب نوع الروبوت.. حيث يمكن استخدام المواضع الزاوية أو الاحداثيات الكارتيزية أو حالة الصمامات OFF/ON في حالة الروبوتات الهوائية والهيدروليكية. وفي الغالب.. يتم تخزين المواضع الزاوية لمفاصل الذراع كما هو مبين بالشكل رقم (٥). يبين هذا الشكل.. جزءاً من ذاكرة وحدة تحكم كننورى في ذراع روبوتى.. حيث يتم تخزين المواضع الزاوية للمفاصل عند ثلاث نقاط مختلفة.



شكل رقم (٤): التحكم في المسار

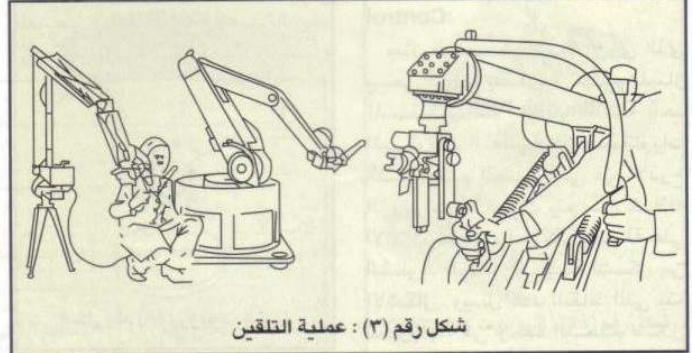


شكل رقم (١): الروبوت الصناعي

الخطية.. والتحكم الذكى. قبل البدء في شرح هذه الأنواع من منظومات التحكم في مسار حركة الأذرع.. يجب أولاً فهم الكيفية التي تتم بها عملية تخزين النقاط التي تشكل مسار الحركة في وحدة التحكم. تمثل هذه النقاط.. المواضع المختلفة لنقطة مركز الأداة خلال حركة الذراع من نقطة البداية إلى نقطة النهاية. يوضح الشكل رقم (٤).. روبوت مبسط بأربع درجات حرية حركة في ثلاثة مواضع مختلفة ضرورية لإتمام عملية التقاط جزء ميكانيكى من على سير ناقل ConveyorBelt. يمثل الموضع الأول.. موضع البداية. وفي الموضع الثانى.. يتم وضع الماسك Gripper المثبت في النهاية الطرفية للذراع فوق الجزء المراد التقاطه مع الحفاظ على فتح فكى الماسك. فى الموضع الثالث.. يتم وضع الماسك حول الجزء مع غلق الفكين. تمثل هذه المواضع الثلاثة.. أقل عدد ممكن من الخطوات البرمجية اللازمة لإتمام هذه العملية. تقوم منظومة تشغيل الروبوت.. بتخزين هذه النقاط الثلاث في ذاكرة وحدة التحكم للرجوع إليها عند تنفيذ البرنامج.

الروبوت بكيفية القيام بعملية ما من خلال حركات تتابعية يتم برمجتها وتخزينها في ذاكرة وحدة التحكم. تسمى هذه الطريقة.. البرمجة من خلال الارشاد Lead-through.. وسوف نعرض الطرق المختلفة لبرمجة الروبوتات الصناعية فى مقال تال. يمكن إجراء عملية تلقين الروبوت عن طريق استخدام صندوق تلقين Teach Box.. أو لوحة تلقين يدوية محمولة Teach pen -dant - شكل رقم (٢)- أو بالإرشاد المباشر بالتحكم فى الأداة الطرفية.. أو غير المباشر عن طريق استخدام زراع روبوتى له نفس الخواص الميكانيكية ولكنه اخف كما هو مبين بالشكل رقم (٣). وكما ذكرنا فى المقال السابق.. يتم تقسيم منظومات التحكم فى موضع الأداة المثبتة فى النهاية الطرفية للذراع الروبوتى إلى منظومات تحكم مفتوحة الحلقة.. ومنظومات تحكم مغلقة الحلقة. وطبقاً لطريقة التحكم فى مسار حركة الذراع.. يتم تقسيم منظومات التحكم إلى تحكم بالمحددات المحورية.. وتحكم من نقطة إلى نقطة وتحكم كننورى.. ومنظومات المسار المستمر أو المتابعة

يقصد بالتحكم الحركي فى الذراع الروبوتى.. تغير موضع نقطة مركز الأداة TCP أو النهاية الطرفية للذراع.. لاتباع مسار حركة محدد سلفاً لأداء مهمة معينة.. مثل تجمع أجزاء ميكانيكية أو طلاء هيكل سيارة أو ترتيب المواد على منصات النقل أو تحميل وتفريغ المكثبات فى الخطوط الإنتاجية.. إلخ. وعلى الرغم من شيوع استخدام الأذرع الروبوتية فى الصناعة منذ زمن طويل.. إلا أنه لا توجد مواصفات قياسية متفق عليها لمنظومة التحكم الحركي المثلى الواجب استخدامها. يصور الشكل رقم (١).. المكونات الأساسية لروبوت صناعى.. وفيه يرسل المعالج المركزى أوامر التحكم إلى وحدة التحكم المؤازر التي تتحكم فى وحدات التشغيل الخاصة بمفاصل الذراع الروبوتى. يتم تثبيت أداة فى النهاية الطرفية للذراع لمساعدة الروبوت على إنجاز المهمة المكلف بها.. مثل ماسك لالتقاط الاغراض أو أداة قطع. يتم أو رشاش دهان أو أداة قطع. يتم التحكم فى هذه الأداة من خلال الاوامر الصادرة من المعالج المركزى لفتح او غلق الماسك. على سبيل المثال.. تتولى وحدة المعالج المركزى أيضاً ضمان تكامل الوحدات الطرفية للمنظومة والمستشعرات والشاشة التي تستخدم فى بعض الروبوتات لبيان حالة المنظومة. وعادة.. ما تعتمد منظومة التحكم فى الروبوتات الصناعية على قيام المشغل البشرى بتلقين أو إرشاد



شكل رقم (٣): عملية التلقين



في هذا المقال.. يتم عرض منظومات التحكم الحركي التي يغلب استخدامها في الأذرع الروبوتية.

١-التحكم بالمحددات المحورية Axis Limit Control:

يسمى هذا النوع أيضاً.. بمنظومة التحكم من توقف إلى توقف Stop-to-Stop .. أو التحكم ذي الموضعين Two-Position Control .. وهي منظومة تحكم مفتوحة الحلقة.. بمعنى عدم وجود أية تغذية مرتجعة عن موضع وسرعة الذراع. يبين الشكل رقم (٦) ذراع روبوتى يتحرك باستخدام التحكم بالمحددات المحورية من النقطة A.. وعند الوصول إلى النقطة B يتوقف عن الحركة بفعل مصد ميكانيكى Limit Switch مثبت في محور الحركة عند النقطة B.

نلاحظ هنا.. وجود موضعين على كل محور حركي يحددان بداية ونهاية الحركة. ونتيجة لذلك.. نجد أن المعلومات الواجب تخزينها في الذاكرة.. عادة ما تكون قائمة متتابعة من أوامر التشغيل والتوقف On-Off لوحدة تحريك الذراع. يعتبر هذا النوع من أبسط وأرخص منظومات التحكم في الأذرع الروبوتية.. ويكثر استخدامها في الروبوتات الهوائية والهيدروليكية. ومن أكثر المجالات التي يكثر فيها استخدام هذا النوع من منظومات التحكم.. تحميل وتفريغ الماكينات.

٢- التحكم من نقطة إلى نقطة Point-To-Point Control (PTP):

على عكس التحكم بالمحددات المحورية.. تعتبر منظومة التحكم من نقطة إلى نقطة منظومة تحكم مغلقة الحلقة.. يتم فيها توفير تغذية مرتجعة عن حالة محاور الحركة خلال المسار. يعتبر هذا النوع من التحكم أكثر تقدماً من سابقه.. إذ يستطيع الروبوت في هذه الحالة

اختيار أى نقطة فى نطاق العمل لتكون هدفاً مرحلياً فى مسار حركته. فى هذه الحالة.. يتحرك الذراع من نقطة معينة إلى النقطة التالية دون الأخذ فى الاعتبار المسار الذى يربط بينهما. عند تلقين الروبوت الحركات أو النقاط التى سيتبعها فى حركته.. يقوم مشغل الروبوت عادة باستعمال لوحة تلقين Teach Pendant - شكل رقم (٢) - ومنها.. يتم توفير بعض وظائف التحكم الأساسية عن طريق أزرار ضغط.. لتمكين المبرمج من التحكم فى كل محور من محاور حركة الذراع بشكل مستقل.. أو لتمكين وحدة التحكم من تخزين الموضع الحالى لكل مفصل من مفاصل الذراع أو لتوقيف الروبوت عن الحركة فى حالة الطوارئ. يوفر بعض مصنعي الروبوتات ووظائف إضافية فى وحدة البرمجة مثل التحكم فى سرعة حركة الذراع أو فتح وغلق الماسك المثبت فى النهاية الطرفية للروبوت. باستخدام لوحة التلقين.. يقوم المبرمج بتحريك الذراع بحرية تامة للوصول إلى نقطة ما فى نطاق عمل الروبوت. عند الوصول إلى النقطة المطلوبة.. يتم توقيف الروبوت عن الحركة.. ثم بالضغط على زر الذاكرة Memory Button تقوم وحدة التحكم بتسجيل الأحداث الكارتيزية لهذه النقطة من حيث الموضع XYZ والاتجاه ABC .. وذلك بالنسبة لنظام إسناد مرجعى.. عادة ما يكون القاعدة الثابتة للروبوت.

يوضح الشكل رقم (٧) .. فكرة عمل منظومة التحكم من نقطة إلى نقطة.. حيث يصور مسار الحركة الواجب اتباعه لنقل غرض ما من السير الأيسر إلى السير الأيمن. يتشكل هذا المسار من أربع نقاط.. ويمثل الخط المتصل المسار المرغوب للحركة عند تنفيذ البرنامج.. بينما يمثل الخط المتقطع مسار الحركة خلال عملية البرمجة أو عملية تلقين الروبوت كيفية القيام بهذا التتابع من الحركات والتي يتم فيها تسجيل الأحداث الكارتيزية للنقاط الأربع الواجب المرور بها لاتمام عملية النقل. نلاحظ.. اختلاف المسار الذى يتبعه الروبوت بين نقطتين خلال عملية التلقين.. عن المسار المتبع خلال تنفيذ البرنامج. ولكن الشيء المشترك بين المسارين.. هو ضرورة المرور بالأربع نقاط بنفس التتابع.. وبالتالي نجد أن شكل المسار لا يؤثر فى إتمام عملية النقل. تعتبر الحركة فى خط مستقيم من أعقد المهام التى تواجه الروبوت.. خاصة إذا كان من النوع ذى الهيئة الكروية.. إذ لا بد من تحقيق تحكم حركي متزامن على أكثر من محور للحصول على حركة فى خط مستقيم. يوضح الشكل رقم (٨) روبوت كروى يتحرك من النقطة (1) التى تبعد عنه مسافة ما إلى النقطة (2) التى تبعد عن الروبوت نفس المسافة ولكن ترتفع عن النقطة (1) فى اتجاه محور Z. لاتمام هذا الانتقال.. يجب على وحدة التحكم فى الذراع تغيير أربع درجات حرية حركة.. حيث يتم تدوير قاعدة الروبوت بزاوية θ .. ثم تغيير الموضع الزاوى للكثف من ϕ_1 إلى ϕ_2 .. ثم مد الذراع بطول محور Z للوصول إلى النقطة المرتفعة.. ثم تغيير درجة ميل الرسغ من γ_1 إلى γ_2 .. يوضح الشكل رقم (٨) مسار الحركة الذى يتبعه الروبوت للانتقال من النقطة (1) إلى النقطة (2) .. حيث يلاحظ أن مسار الحركة يأخذ شكل خط غير مستقيم. ويلاحظ.. أن عدم استقامة المسار لا يشكل أى مشكلة فى الروبوتات المستخدمة فى ترتيب المواد على منصات النقل أو تحميل وتفريغ الماكينات.. ولكن فى روبوتات اللحام بالقوس الكهربى مثلاً.. نلاحظ ضرورة اتباع الروبوت مسار حركة فى خط مستقيم يمثل خط الالتئام بين الجزأين المعدنيين

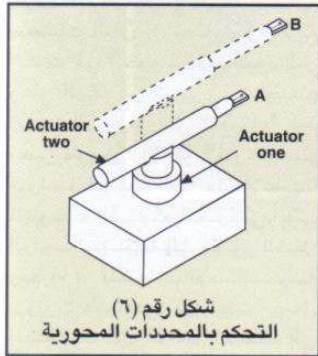
Segment of controller memory

Values for Position 1	Joint angles	Locations
1000	0	θ_1
1001	180	ϕ_1
1002	90	β_2
1003	180	B
1004	0	θ_2
1005	175	ϕ_2
1006	80	β_2
1007	190	B
1008	0	θ_3
1009	170	ϕ_3
1010	70	β_3
1011	200	B
1012		
1013		
1014		

Number or addresses used to identify each memory location

Joint angles stored in consecutive memory locations

شكل رقم (٥): ذاكرة وحدة التحكم



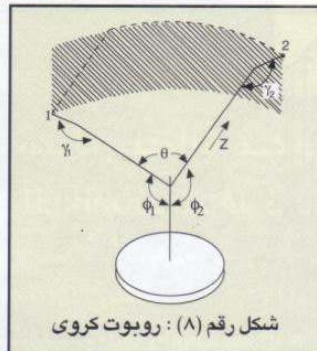
شكل رقم (٦) التحكم بالمحددات المحورية

المراد لحامهما. لتحريك الروبوت فى خط مستقيم باستخدام التحكم من توقف إلى توقف.. يجب زيادة عدد النقاط التى يتم تسجليها خلال عملية البرمجة للحفاظ على تغيرات صغيرة ومتساوية فى كل محور من محاور الحركة.

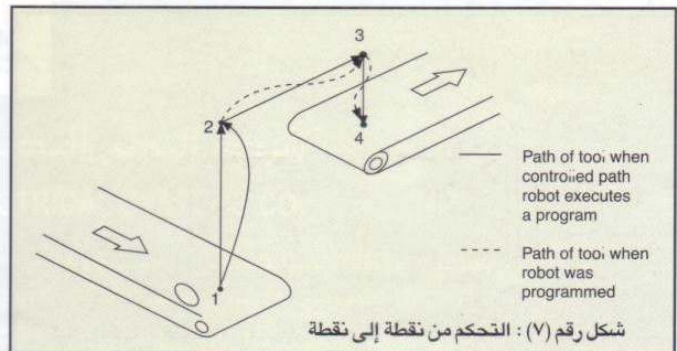
يكثر استخدام هذا النوع من منظومات التحكم الحركي فى عمليات تجميع مكونات الماكينات وتشغيل القوالب.. وكذلك فى عمليات التحميل والتفريغ ومناولة المواد. ينتشر استخدام منظومة التحكم من توقف إلى توقف فى الأذرع الاسطوانية.. حيث تتراوح قدرة الرفع ما بين عدة كيلوجرامات الى ٩٠٠ كجم بدرجة تكرارية تصل إلى ٠.٠٥١ مم.

٣-التحكم الكنتورى Contouring Control:

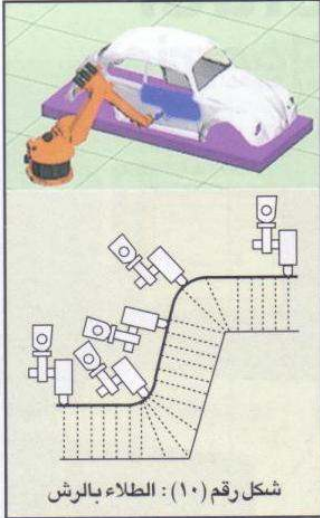
يمثل التحكم الكنتورى الذى يسمى أيضاً بمنظومة تحكم المسار المستمر Continuous Path أحد المستويات العالية من مستويات التحكم الحركي فى الأذرع الروبوتية.. حيث يتم من خلاله الالتزام التام بالحركة المتصلة على الخطوط الخارجية لشكل من الأشكال. ويمثل عدد النقاط التى يتم تخزينها فى وحدة التحكم خلال



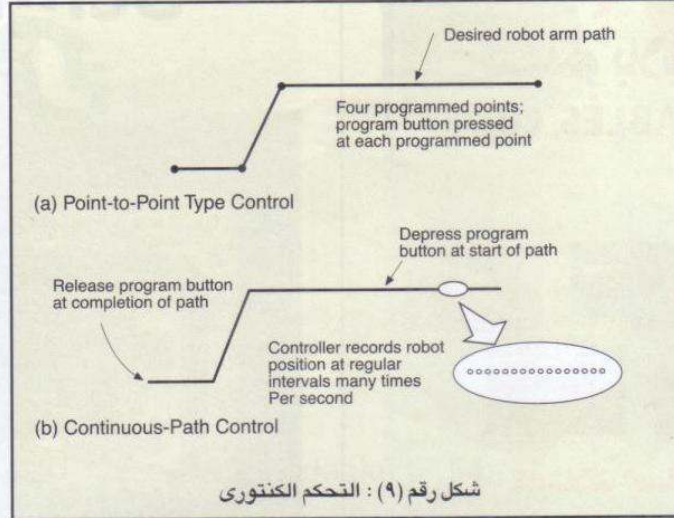
شكل رقم (٨): روبوت كروى



شكل رقم (٧): التحكم من نقطة إلى نقطة



شكل رقم (١٠): الطلاء بالرش



شكل رقم (٩): التحكم الكنتوري

يوضع الشكل رقم (١٢).. المكونات الأساسية لمنظومة روبوت صناعي ذكي.

يمكن للروبوت الذكي.. الخروج عن برنامجه عند تغير الظروف المحيطة به بشكل يستدعي ذلك. كما يمكنه اتخاذ قرارات منطقية تعتمد على البيانات المرتجعة من مستشعراته التي تراقب العمل. وفي المستقبل ومع تطور تقنيات الذكاء الاصطناعي ومنظومات الإدراك.. سوف تكتسب الروبوتات القدرة على إدراك ما تقوم به من أعمال.. مما سيكسبها القدرة على التفاعل مع المشرف البشري في مواقع الانتاج من خلال محادثة صوتية أو نوافذ تفاعلية.

الاستجابة لتغيرات هذه البيئة والمستجدات التي قد تعترض تنفيذها للمهام الموكلة إليه. إذا تحققت تلك السمات في الروبوت.. يمكن في هذه الحالة وصفه بالروبوت الذكي. فعلى الرغم من أن معظم روبوتات الطلاء واللحام في مصانع السيارات يمكن إعادة برمجتها.. إلا أنه من الصعب اعتبارها روبوتات ذكية.. حيث أن ما تقوم به هذه الروبوتات في حقيقة الأمر لا يتعدى أداء مهام محددة بدقة وبدرجة تكرارية عالية وبسرعة ولكنها تفتقد القدرة على التفاعل مع بيئة العمل. على أنه يمكن إكساب هذه الروبوتات درجات معينة من الذكاء.. باستخدام منظومات الاستشعار وتقنيات الذكاء الاصطناعي. فبتزويد روبوت اللحام بالقوس - مثلاً - بمستشعرات تتبع عدم الانتظام في حواف وصلات اللحام.. يمكن إكساب الروبوت قدرًا من الذكاء يساعده على التغلب على مشكلة عدم انتظام الأسطح بتصحيح وضع أداة اللحام حسب حالة السطح. وبفضل التوسع في إدخال تقنيات الذكاء الاصطناعي في وحدات التحكم.. سوف يكون للروبوتات القدرة على القيام بمهام لم يتم برمجتها عليها. ويتوقع أيضاً.. أن يتمكن الروبوت من برمجة نفسه.. وحينئذ سيكون للروبوت ذاتية أكثر.

في روبوتات الطلاء بالرش.. يجب إنجاز الطلاء في أكثر من جانب من المشغولة.. في الوقت التي تتحرك فيه المشغولات بشكل مستمر على السير الناقل لضمان الأداء المتواصل لخط الإنتاج. في هذه الحالة.. يجب برمجة الروبوت ذي القاعدة الثابتة بشكل يمكن الأداة من ملاحقة المشغولة في الإطار الزمني الذي تعبر فيه نطاق عمل الروبوت.. بالأخذ في الاعتبار سرعة السير الناقل. في بعض الأحيان.. يتم استخدام روبوتات بقاعدة متحركة كالروبوت CRS T265 - شكل رقم (١١) - حيث تتحرك القاعدة على جريدة مسننة في الاتجاه الموازي لخط الإنتاج للتخفيف من صعوبة البرمجة. في كلتا الحالتين.. يجب إجراء مقارنة اقتصادية بين تكلفة إضافة درجة حرية حركة لقاعدة الروبوت.. وتكلفة إضافة حزمة برامج جاهزة تمكن الروبوت ذا القاعدة الثابتة من متابعة حركة المشغولات.

٥- التحكم الذكي Intelligent Control:

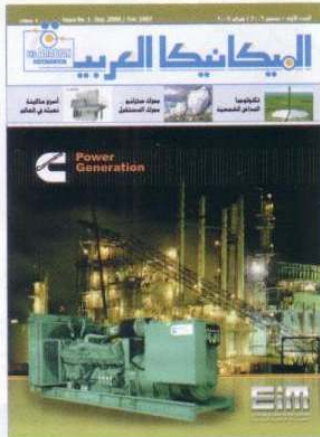
بالإضافة إلى قدرة الروبوت التكرارية على أداء مهمة ما.. يجب أن يكون قابلاً لإعادة البرمجة لأداء مهام مختلفة.. وأن تكون له القدرة على التفاعل مع البيئة المحيطة واتخاذ قرارات قائمة على

مرحلة التلقين.. فرقاً أساسياً بين هذه المنظومة ومنظومة التحكم من نقطة إلى نقطة كما هو مبين بالشكل رقم (٩).

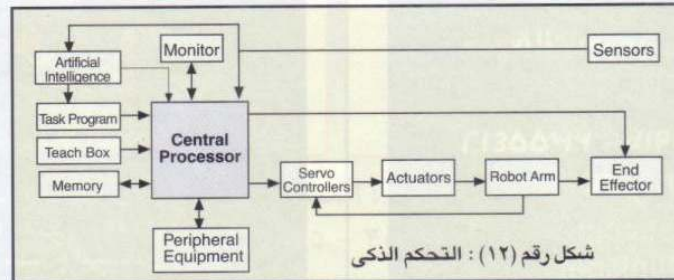
كما ذكرنا سابقاً في منظومة التحكم من نقطة إلى نقطة.. يتم تحريك الذراع إلى نقطة ما.. ثم حفظ إحداثيات هذه النقطة وهكذا.. حتى يتم تخزين كل النقاط التي تشكل تتابع الحركة المطلوب. في التحكم الكنتوري.. يتم خلال مرحلة التلقين الضغط على زر البرمجة عند بداية الحركة ولا يرفع إلا عند الانتهاء من المسار المطلوب. خلال الحركة من نقطة البداية إلى النهاية.. تقوم وحدة التحكم بتخزين عدد من النقاط بمعدل يصل إلى ٦ أو أكثر نقاط في الثانية الواحدة.. لذا.. نجد أن عدد النقاط التي تشكل المسار.. قد يصل إلى عدة مئات.. كما هو مبين بالشكل رقم (٩). يصعب على غير المتخصصين التمييز بين روبوت يتحرك من نقطة إلى نقطة.. وآخر يتحرك في مسار كنتوري متصل.. في حالة برمجة الأول على نحو يؤدي إلى زيادة عدد النقاط على المسار إلى أكبر عدد ممكن.. لا يقتصر التحكم الكنتوري على تنفيذ المسار المتواصل المحدد لأداة الروبوت.. ولكن يشمل أيضاً التحكم في سرعة الأداة.

تستخدم هذه الروبوتات.. في العمليات التي تتطلب حركات مستمرة ومنظمة ومستقرة.. مثل عمليات الطلاء بالرش - شكل رقم (١٠) - والتشطيب والتشغرية وعمليات اللحام بالقوس الكهربى.

٤- المتابعة الخطية: تعتبر المتابعة الخطية.. من أكثر أنواع منظومات التحكم الكنتوري تعقيداً.. حيث يجب أن يكون الروبوت قادراً على ملاحقة حركة المشغولات على الخط الانتاجي أثناء قيامه بعملية ما. على سبيل المثال..



- محرك "سترنج" ..
- محرك المستقبل .
- تكنولوجيا المداخن الشمسية .
- نقل المواد الصلبة عن طريق خطوط الأنابيب .
- الضوء الشمسي المهجن .
- أسرع ماكينة تعبئة وتغليف في العالم .



شكل رقم (١٢): التحكم الذكي



شكل رقم (١١): الروبوت CRST256