

دراسة سرعة الاستجابة لنظام روبوت يقاد بمحركات تيار مستمر

ربي خيجة*

(تاريخ الإيداع 19 / 7 / 2016. قُبِلَ للنشر في 12 / 10 / 2016)

□ ملخص □

تتكب العديد من الأبحاث على دراسة أذرع الروبوتات والتحكم بها وقدرتها على إجراء عمليات الملاحقة وفقاً لنوع المحركات التي تتألف منها سواء محركات التيار المستمر أو المحركات الخطوية. بالإضافة إلى سرعة الاستجابة التي يتمتع بها كل نوع من أنواع هذه المحركات وفقاً للتركيب الفيزيائي الخاص به. يتألف الروبوت من مجموعة من الوصلات المصنوعة من مواد صلبة (تمثل أذرع الروبوت) مرتبطة فيما بينها بمجموعة من المحركات (تمثل المفاصل) والمجموع ككل يسمح له بالتحرك في الفراغ وفقاً لعدد من درجات الحرية، والهدف الرئيسي للروبوتات على اختلاف أنواعها العمل في مواقع معينة تشكل خطراً كبيراً على الإنسان (كالإشعاع والحرارة العالية) أو العمليات التي تتطلب عدداً كبيراً من حلقات التكرار. يهدف البحث لدراسة حركة ذراع روبوت عن طريق التحكم بحركة المحركات واستجابتها لملاحقة خط مرسوم اعتماداً على متحكم PID وذلك للوصول إلى أقصى دقة استجابة للملاحقة عن طريق تعويض المحددات الخطأ في رؤية الكاميرا التي يعتمد عليها الروبوت لرؤية الخط إذ أن جميع الكاميرات غير مثالية وتحتاج إلى معايرة calibration مسبقاً، حيث تم تعويض هذه المحددات من أجل التحكم بثلاث محركات ضمن المحاور الإحداثية .x,y,z.

الكلمات المفتاحية: روبوت - تحكم - محرك خطوي - محرك تيار مستمر

* ماجستير - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study of Robot system Response drive by DC motors

Roba Khega*

(Received 19 / 7 / 2016. Accepted 12 / 10 / 2016)

□ ABSTRACT □

A lot of researches studies robot arms and the ability of controlling it to track targets which depends on the type of motors used, DC motors or servo motors. In addition to response time that DC and motor can give as a physical structure.

Robots consists of number of junctions built of solid materials (robot arms) connected together by motors and the total structure lets the robot to move, these robots can be used in places that humans cannot act inside it or in places which we need a lot of repeated actions.

This search aims to study the robot arm movement by controlling the motors and its response to a drawn line using a PID controller to achieve the most accuracy by using the distribution constants of the camera lens which used by the robot to see. All the cameras need to be calibrated and the constants used to move the robot in X,Y,Z.

Keywords: Robot – Control – Servo Motor – DC Motor.

*Master – Physics Department – Faculty of Sciences – Tishreen University – Lattakia - Syria

مقدمة:

يقسم الروبوت إلى مجموعة من الأجزاء وهي القاعدة - المعصم - الذراع - والمقبض (أواللاقط) والذي نهدف بتحريك جملة الروبوت العامة إلى توجيهه نحو هدف معين نرغب بملاحقته والإمساك به. يتم وصل الروبوتات عادة إلى مآخذ الحواسيب المختلفة LPT USB , COM [1].

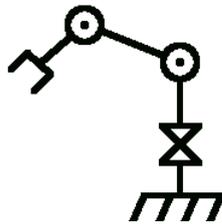
لتسهيل دراسة الروبوت يمكن رسم هذا الروبوت اعتمادا على طريقة Denavit-Hartenberg والتي تسمح بتمثيل الروبوت على شكل مخطط التمثيل الميكانيكي الحر حيث نمتلك حركتين رئيسيتين هما الانتقالية والدورانية وذلك على ثلاثة محاور X,Y,Z كما في الشكل (1) التالي:



الشكل(1) - تمثيل الروبوتات بطريقة Denavit-Hartenberg

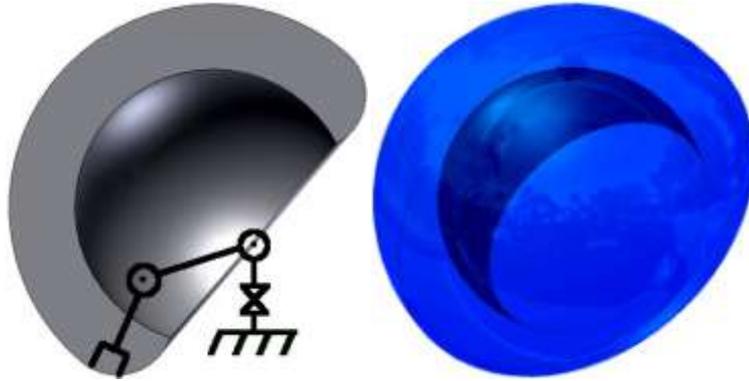
1-1- فضاء عمل الروبوت:

ويسمى أيضا الفضاء "القابل للوصول" وهي كامل نقاط الفضاء المحيط والتي يمكن للاقط ذراع الروبوت الوصول إليها عند التحريك وهي تعتمد على حالات الانتقال والدوران وعدد درجات الحرية بالإضافة إلى طول كل وصلة من وصلات الروبوت. يبين الشكل(2) روبوت يتمتع بثلاث درجات من الحرية. [2].



الشكل(2) - تمثيل الروبوت المصمم

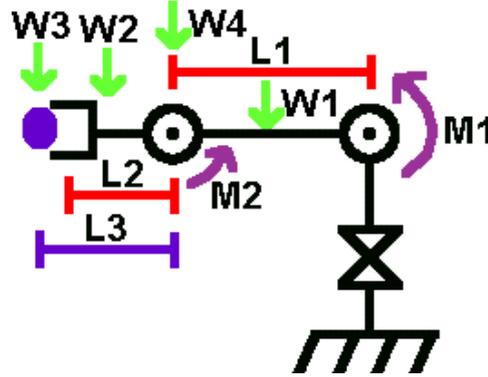
ويمكن لهذا الروبوت التحرك في فضاء يمثل بالشكل (3) التالي:



الشكل (3) - فراغ حركة الروبوت المستخدم في الأطروحة

1-2- حسابات القوى والمعزوم الخاصة بالوصلات [3]:

إن مراكز القوى والتحرك والتي تتحكم بكامل الروبوت تعتمد بصورة رئيسية على المحركات والتي يجب أن تحمل على الأقل وزن ذراع الروبوت (إذا لم نأخذ بعين الاعتبار خيارات الحمولات الأخرى)، في البداية سوف نقوم بتمثيل بناء هذا الروبوت وفقاً لطريقة Denavit-Hartenberg شكل (4):



الشكل (4) - توزيع الأوزان والمعزوم للروبوت المصمم

حيث:

W وزن كل وصلة من الوصلات أو وزن الجسم المحمول.

L طول كل وصلة من الوصلات.

M المعزوم المؤثرة.

أي البارامترات الرئيسية التي تؤخذ بعين الاعتبار عند دراسة ذراع الروبوت:

- وزن كل وصلة من الوصلات.
- وزن كل ذراع من الأذرع.
- وزن الجسم المرغوب حمله.
- طول كل وصلة من الوصلات.

يلي ذلك عملية حساب العزوم المطلوبة لكل محور من المحاور وذلك على اعتبار أن مركز ثقل كل وصلة يتوضع في منتصف الوصلة.

تعطى علاقة العزم حول محور الوصلة الأولى يعطى بالعلاقة:

$$M1 = L1/2 * W1 + L1 * W4 + (L1 + L2/2) * W2 + (L1 + L3) * W3 \quad (1)$$

وعلاقة العزم حول محور الوصلة الثانية:

$$M2 = L2/2 * W2 + L3 * W3 \quad (2)$$

ويجب أن نذكر أنه كلما كانت الوصلات أقصر كلما كان أفضل بالنسبة للروبوت والتحكم به. يشكل التحكم الميكانيكي الجزء الرئيسي في عمليات بناء وقيادة الروبوتات وتتضمن الدراسة هنا بصورة رئيسية العلاقة القائمة بين ما ندعوه بالإطارات - وهي مجموعة من النماذج الإحداثية الخاصة بكل جزء من أجزاء الروبوت (إطار القاعدة - الذراع - توضع اللاقط أو الهدف المرغوب ملاحقته) وعلاقة هذا الإطار أو ذلك بجملته الإحداثيات الخاصة بالكاميرا بحيث أن أي تغيير يمكن أن يطرأ على الجسم المتحرك ضمن صورة الكاميرا سيستجاب له بحركة مقابلة ومباشرة من قبل ذراع الروبوت.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى دراسة نظام روبوت الممثل بذراع آلية من ناحية الملاحقة المتاحة لخط اعتماداً على نظام ابصار حاسوبي، يفيد هذا البحث في تحديد المتحكم الذي سيقوم بتعويض محددات الكاميرا الناتجة عن التشويه في تصنيع تلك الكاميرات بحيث يقوم الروبوت بملاحقة الخط بأقصى دقة ممكنة بهدف إجراء العمليات الجراحية مثلاً.

طرائق البحث ومواده

1-دراسة الروبوتات:

عند البدء في تصميم أي روبوت يجب تحديد عدد المفاصل والأذرع المؤلف منها هذا الروبوت ومن ثم المواد التي يمكن أن يصنع منها هذا الروبوت مثل المادة التي تصنع منها الأذرع ويلي ذلك تحديد نوع المحركات التي ستقوم بقيادة الروبوت ومايلي من دارات التحكم والقيادة المختلفة، سيتم التركيز في هذا القسم على البناء الميكانيكي للروبوت وطرق القيادة والتحكم وبناء المسارات كما يتم تحديد نظام الإبصار الحاسوبي المرغوب الاعتماد عليه.

1-1- مصفوفة بناء الروبوت [3]:

يعرف الروبوت كما ذكرنا سابقاً على أنه مجموعة من الأذرع ذات أطوال مختلفة وهذه الأذرع تتصل مع بعضها البعض اعتماداً على المحاور والوصلات (المفاصل).

تسمى القاعدة بالوصلة صفر يليها الجسم المتحرك الأول المعروف بالوصلة رقم 1 (الذراع الأولى) وهكذا بالتتالي حتى نصل إلى نهاية الذراع (اللاقط) والتي يمكن أن نشير إليها مبدئياً بالرمز n ويجب أن نأخذ بالحسبان عند دراستنا هذه الوصلات نوع المواد المستخدمة ودرجة الصلابة وقساوة الوصلات المختلفة بالإضافة على الشكل الخارجي العام والوزن وللتبسيط عادة تعرف الوصلة بأنها الجزء الذي يصل بين مفصلين مختلفين في الروبوت، واهتمامنا هنا سيتركز على عنصرين رئيسيين هما المسافة ما بين الوصلة وجارتها كبنء أول وزاوية الدوران حول الوصلة ما بين المحور والمحور المجاور له.

إن المحددات الرئيسية التي تعتمد في هذا المجال هي طول الوصلة a_i ولولبية الوصلة α_i وهي تعتمد على محاور الوصلة i والوصلة التي تليها $i+1$ أي بمعنى عام سوف يتم التركيز على أربعة عناصر مؤثرة منها ما يخص الوصلة بحد ذاتها ومنها ما يصف وضع الوصلة مع الوصلات المجاورة ، تعبر القيمة θ_i عن متحول الوصلة والعناصر الثلاثة الباقية سوف يمكن اعتبارها محددات الوصلة الثابتة . أي بشكل رئيسي وأثناء بناء الروبوت يتم حساب البارامترات التالية:

1. a_i وهي المسافة من \hat{Z}_i إلى \hat{Z}_{i+1} على طول المحور \hat{X}_i .
2. α_i وهي الزاوية ما بين \hat{Z}_i و \hat{Z}_{i+1} مقاسة حول \hat{X}_i .
3. d_i وهي المسافة من \hat{X}_{i-1} إلى X_i على طول المحور \hat{Z}_i .
4. θ_i وهي الزاوية ما بين \hat{X}_{i-1} إلى X_i مقاسة حول \hat{Z}_i .

عادة نختار المحدد الأول أكبر من الصفر نظرا لكونه محدد طول وصلة [3] أما العناصر الباقية فهي عبارة عن عناصر ذات إشارات.

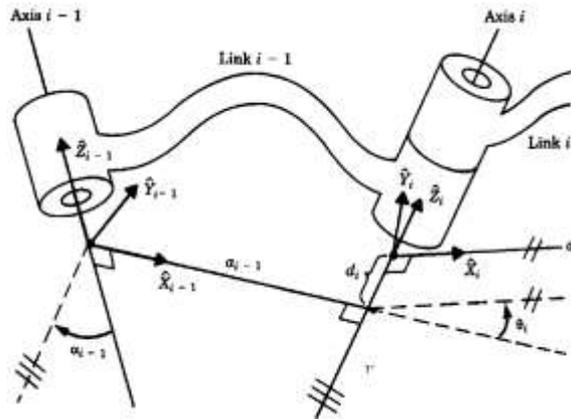
بالنسبة للروبوت الذي قمنا ببنائه فإنه لدينا ثلاث وصلات ويمثلها الجدول (1)

الجدول (1) - تمثيل العلاقات بين الوصلات بالنسبة للروبوت المدروس

l	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	-90	0	0.1	$\Theta 1$
2	0	0.4	0	$\Theta 2$
3	0	0	0	90

وجداول هذه القيم ناتج عن مخطط الأبعاد ما بين الوصلة والوصلة التي تليها والذي يمثل بشكل مرجعي

بالشكل (5) التالي:



الشكل (5) - محددات العلاقة بين الوصلات

2-1 - معادلة التحكم الرئيسية [3]:

لنفرض أن ذراع الروبوت متوضعة في وضعية افتراضية أولية تمثلها بنقطة A وأن النقطة الأخرى حيث يتوضع الهدف المراد التحرك إليه هي B ولنفرض أننا نرغب بالانتقال من النقطة A إلى النقطة B في جملة إحداثية ما عندها

نتعامل مع مصفوفة تسمى مصفوفة التوجيه [3] نرمز لها بالرمز R وهي تمثل العلاقة المباشرة ما بين الزوايا المتشكلة ما بين محاور جمل الإحداثيات الخاصة بالنقطتين A, B وفقاً للمصفوفة التالية:

$${}^A_B R = \begin{pmatrix} X_B \cdot X_A & Y_B \cdot X_A & Z_B \cdot X_A \\ X_B \cdot Y_A & Y_B \cdot Y_A & Z_B \cdot Y_A \\ X_B \cdot Z_A & Y_B \cdot Z_A & Z_B \cdot Z_A \end{pmatrix} \quad (3)$$

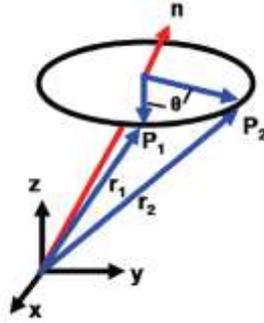
وهنا نهتم بالانتقال الخطي والانزياح الدوراني.

3-1- متحولات الانزياح الدوراني [3]:

يعرف الانزياح الدوراني من محور أول إلى محور ثانٍ (أو بالأحرى من توضع أول إلى توضع آخر) اعتماداً على العلاقة:

$$A_{p2} = R_k(q) \cdot A_{p1} \quad (4)$$

حيث A_{p2}, A_{p1} تمثلان شعاع التوضع الأولي والنهائي و $R_k(q)$ تمثل مصفوفة العلاقة ما بين الوضعين ويمكن تمثيل هذه العلاقة كما في الشكل (6) التالي:



الشكل (6) - تمثيل زوايا الدوران

وعلى سبيل المثال مصفوفة الدوران المدروسة والمقدرة حول المحور Z مثلاً تتمثل كما يلي [3]:

$$R_z(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

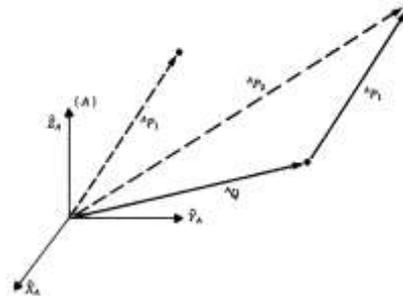
حيث θ الزاوية ما بين شعاعي الموضعين.

3-1-4- متحولات الانتقال الخطي [3]:

يمثل متحول الانتقال الخطي عمليات الانتقال الانسحابي ما بين نقطتين ويكتب شعاعياً وفقاً للعلاقة التالية:

$$A_{p2} = A_{p1} + A_Q \quad (6)$$

حيث A_{p2}, A_{p1} تمثلان شعاع التوضع الأولي والنهائي و A_Q تمثل شعاع الانسحاب الخطي، وهو يمثل بالشكل (7) التالي:



الشكل (7) - تمثيل الانتقال الخطي

وتعطى علاقة الانتقال الخطي كمصفوفة كما يلي:

$$A_{p2} = D_Q(q).A_{p1} \quad (7)$$

حيث تعبر Q عن الاتجاه، وتكون المصفوفة الكلية الناتجة للانتقال الخطي:

$$D_q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & q_x \\ 0 & 1 & 0 & q_y \\ 0 & 0 & 1 & q_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

وتعبر كل من العناصر الموجودة في العمود الأخير إلى مؤشرات الانتقال وفقا للإحداثيات X,Y,Z .

3-1-5 - مصفوفة الدوران حول المحاور الثلاثة [3]:

لنفرض أنه لدينا الوضع الأولي A حيث تتوضع ذراع الروبوت بوضعية ما ونريد أن نقوم بعملية الدوران حول المحاور الثلاثة (الدوران حول المحور X بالزاوية γ وحول Y بالمقدار β وحول Z بالمقدار α) عندها ستكون مصفوفة التحويل الناتجة والمعبرة عن علاقات الدوران حول المحاور الثلاث من الشكل التالي:

$${}_{yz}(\gamma, \beta, \alpha) = \begin{bmatrix} c\alpha c\beta & c\alpha s\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta c\gamma + s\alpha s\gamma \\ s\alpha c\beta & s\alpha s\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta c\gamma - c\alpha s\gamma \\ -s\beta & c\beta s\gamma & c\beta c\gamma \end{bmatrix} \quad (9)$$

وهذه المعادلة خاصة بتتابع الدوران السابق فقط (إذ أن العلاقات تتغير إذا كان الدوران مثلاً حول Z أولاً ثم حول X وبعدها حول Y) تعبر هذه الدورانات عن دورانات بزوايا تعرف بزوايا أويلر [1] وهي عبارة عن نموذج معتمد يتضمن عدد من تتابعات الدورانات المعدة مسبقاً والتي يمكن استخدامها برمجياً وقد أعدها العالم أويلر، يعتمد الارتباط ما بين العلاقات هنا على عدد من الدورانات حول محاور معينة ووفقاً لتتابع معين فعلى سبيل المثال في حال كان لدينا التتابع Z-Y-Z نقوم بحساب زوايا أويلر كما يلي:

$${}_{yz}(\gamma, \beta, \alpha) = \begin{bmatrix} c\alpha c\beta c\gamma - s\alpha s\gamma & -c\alpha c\beta s\gamma - s\alpha c\gamma & c\alpha s\beta \\ s\alpha c\beta c\gamma + c\alpha s\gamma & -s\alpha c\beta s\gamma + c\alpha c\gamma & s\alpha s\beta \\ -s\beta c\gamma & s\beta s\gamma & c\beta \end{bmatrix} \quad (10)$$

هذا ونجد في ملحق المرجع [3] تمثيلاً لجميع مجموعات زوايا أويلر.

عند دراسة الروبوت يجب أن نحدد مصفوفات تمثل الوضعيات الأولية بين محاور الوصلات المتتالية للاستفادة منها لاحقاً أثناء عمليات التحريك ، حيث تتمثل الصيغة الكلية التي تحدد مصفوف العلاقة ما بين نقطتين متتاليتين بالشكل التالي (حيث s تعبر عن sin و c تعبر عن cos) [3]:

$$= \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

كما أن العلاقة النهائية التي تربط بين التحويلات المختلفة سيكون لها الشكل التالي:

$${}^0_N T = {}^0_1 T {}^1_2 T \dots {}^{N-1}_N T \quad (12)$$

واعتماداً على المصفوفة السابقة تكون العلاقات الرئيسية الخاصة بالروبوت الذي نريد تصميمه ممثلة

بالمصفوفات التالية:

$${}^0_1 T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$${}^1_2 T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ s\theta_2 & c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$${}^2_3 T = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0.4 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

كما يجب على الروبوت أيضاً أن يعرف ما هي العلاقة ما بين ذراعه (أو رأس أصابعه مثلاً) والتي تحتوي على اللاقط أو الكاميرا) وبين مكان تواجد الهدف المراد التحرك إليه ومتابعته وهنا نلجأ إلى علاقة الربط التالية والمتعارف عليها في نظم الروبوت كعلاقة " أين رأس الروبوت بالنسبة للقاعدة":

$${}^S_T T = {}^B_S T^{-1} {}^B_W T {}^W_T T \quad (16)$$

حيث تعبر B عن قاعدة الروبوت الرئيسية (Base) كما تعبر W عن إطار الذراع (Wrest) وتعبر S عن زاوية أو مكان في إحداثيات محطة العمل (Space Point) وتعبر T عن إحداثيات الهدف المراد الوصول إليه (Tool).

في جميع الروبوتات الحديثة نتعرض للمشكلة المتمثلة بالوقت اللازم للعمليات الحسابية للحصول على جميع المصفوفات المطلوبة وإحدى التسهيلات التي يتم استخدامها هنا على سبيل المثال نظم الفاصلة العائمة والتي تسمح لنا بالتقليل من المجال الديناميكي للحسابات كما أن بعض الصيغ الرياضية كقيم الجيب والتجيب يمكن تخزينها في جداول مستقلة بدلا من حسابها كل مرة من جديد.

وبالنسبة للحساب والبحث عن مصفوفات العلاقات ما بين الوصلات فإن إحدى الطرق المثلى للحساب هي إيجاد مصفوفة وصلتين مثلا وإيجاد المصفوفة الثالثة اعتمادا على جداء هاتين المصفوفتين وهكذا دواليك مما يمكن أن يخفض من عدد العمليات الحسابية الممكنة والمطلوبة.

2-دراسة عمليات القيادة الكهربائية [4,5]:

عند القيام بعملية قيادة وتحكم لأي نوع من الروبوتات يجب في البداية تحديد نوع النظام الذي تتم قيادته ونوع المحركات المستخدمة في هذا النظام. إن أكثر أنواع المحركات المستخدمة تتمثل بالمحركات الخطوية ومحركات التيار المستمر المزودة بنظام تعشيق (مسننات) وقيادة مناسب.

الجدول (2) يبين مجموعة مواصفات لمحركات مختلفة وتحديد الأكثر فاعلية وعملية فيما بينها:

الجدول(2) - أنواع المحركات والفوارق ما بينها

المحرك	التغذية	الفعالية	الربط	المتحكم
DC Brush	مستمرة	<50%	مباشر أو حاكمات	سهل إلى معقد
DC Brushless	تردد متغير متناوب ثلاثي	>90%	مباشر أو حاكمات	معقد
AC	=	=	=	سهل إلى معقد
Stepper	نبضات	<50%	=	سهل

المعيار الأول الذي يجب أن نأخذه بعين الاعتبار هو نوع الطاقة التي يتم تزويد الروبوت بها ، الروبوتات الأكثر ثباتا والمطبقة في النظم الصناعية تعتمد على المحركات ثلاثية الطور متناوبة التيار. في حين تعتمد الروبوتات ذات العربات على محركات التيار المستمر مع الأخذ بعين الاعتبار أن العربات التي تحتاج إلى طاقة أكبر من 5KW تعتمد على استخدام محول تيار متناوب عالي الطاقة قابل للتحكم وذلك بهدف تغيير جهد الدخل وهناك أنواع مختلفة من دارات القيادة تلك والتي تسمح لنا بتوليد مجال واسع من الجهود تسمح بالتحكم بالعزوم والسرعات. محركات التيار المتناوب قليلة الاستخدام في الروبوتات بسبب أخطاء التوضع الدقيق التي تعاني منها وبالتالي انخفاض دقتها عند كونها تحت حمولة ما ولها أداء سيء عند السرعات المنخفضة.

عادة ما يتم الاعتماد على الجهود وذلك بهدف التحكم بالتيارات وذلك لأن أكثر عناصر التغذية الخلفية سرعة بالتعديل والاستجابة هي التيارات والتي تؤثر على وشائع المحرك وبشكل أقل على القوة المحركة المغناطيسية العكسية والتي تتناسب مع سرعة المحرك.

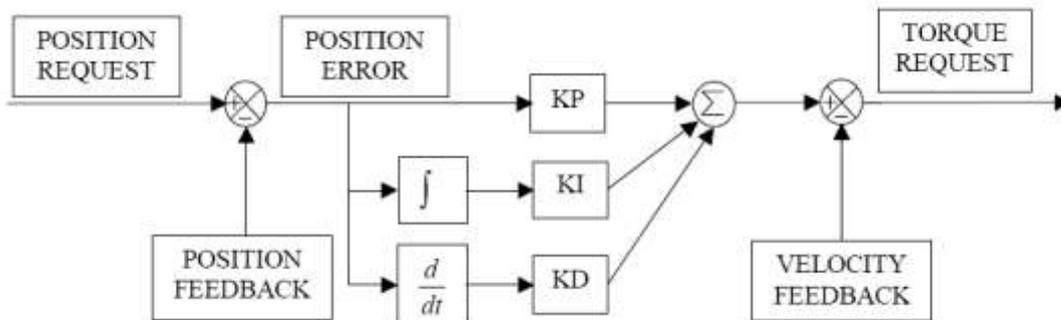
أما باقي المحددات الأخرى (التسارع ، السرعة ، الموضع) فهي تتأثر بتغير ذاتية الملفات وعزم القصور الذاتي (وهو عزم يؤثر كقوة معاكسة لجهة الدوران ناتج عن الاحتكاك والثقالة) إذ إن جميع النظم تمتلك قصور ذاتي موجب وبالتالي تغيير التيار سوف يسبب استجابة أكبر سرعة من استجابة التغيير في النظام الميكانيكي، وبشكل عملي يمكن أن نغير التيار بسرعة أكبر بعشر مرات من جميع المحددات الأخرى وبالتالي النظام الأكثر فعالية والذي يمكن لنا الاعتماد عليه يتمثل بمضخم التيار .

طبعاً خلال المراحل القادمة سيكون بإمكاننا تمثيل المحرك كونه يتأثر بصورة رئيسية بالعزم كمحرك عادي وأي متحكم مرافق.

2-1- متحكمات السرعة [7][6]:

تتأثر السرعة بشكل رئيسي بقوى الاحتكاك ويمكن التحكم بريح السرعة الأمامي لتقليل تلك القوى وهناك مشكلة واحدة تعاني منها هذه الطريقة وهي أن قوى الاحتكاك لا تزداد بشكل خطي عند ازدياد السرعة وريح حلقة السرعة الأمامي الصحيح في سرعة معينة سوف يكون مرتفع جداً بالنسبة لسرعات أعلى مما قد يسبب حالات عدم استقرار وبالتالي يجب ضبط هذا الريح لنحصل على السرعة القصوى المسموح بها للنظام بالنسبة للسرعات الدنيا سوف نحتاج إلى مكامل لضبط السرعة .

بالنسبة للنظام العملي فقد تم تمثيله بالشكل (8) التالي (اعتماد متحكم PID):



الشكل (8) - متحكم الموضع العملي اعتماداً على متحكم PID

2-2- تمثيل أداء المحركات عملياً [7]:

عند التعامل مع تمثيل أداء المحركات يجب التركيز على ذكر تمثيل اللاخطية وحالات التشويه التي يمكن أن يتعرض لها الأداء .

إن المعادلة التفاضلية الخاصة بالذاتية للملفات:

$$v(t) = L \frac{di}{dt} \quad (17)$$

ومعادلة الحالة للتحرير عندئذ ستكون:

$$\dot{x} = \frac{1}{L} u \quad (18)$$

حيث x تمثل الحالة (هنا تتمثل بالتيار) و u تمثل الدخل (وهو الجهد).
تعطى معادلة فضاء الحالة لمحرك التيار المستمر كما يلي:

$$\begin{bmatrix} \dot{\theta} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \frac{1}{J} \left(F + \frac{Kt.Kb}{R} \right) \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{Kt}{R.J} \end{bmatrix} v \quad (19)$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta \\ \omega \end{bmatrix} \quad (20)$$

حيث تتمثل المحددات الأخرى الجديدة:

θ الزاوية الكهربائية بالراديان.

ω السرعة الكهربائية (رادياناً ثانية).

y الخرج المرغوب.

إن لهذه المعادلة الصيغة المتعارف عليها في نظم التحكم، ويمكن تحويل معادلات فضاء الحالة إلى معادلات

الحالة من الصيغة:

$$\dot{\theta} = 0.\theta + 1.\omega + 0.v \quad (21)$$

$$\dot{\omega} = 0.\theta + -\frac{1}{J} \left(F + \frac{Kt.Kb}{R} \right) \omega + \frac{Kt}{R.J} v$$

$$y = 0.\theta + 1.\omega$$

يمكن إضافة عنصر على المعادلة الثانية والذي يمثل حالات اللاخطية:

$$\dot{\omega} = 0.\theta + -\frac{1}{J} \left(F + \frac{Kt.Kb}{R} \right) \omega + \frac{Kt}{R.J} v \cdot \min(\text{abs}(v), v_{\max}) \cdot \text{sign}(v)$$

إذا تم الاعتماد على التحويلات المتعددة الخطية يمكن لنا التحويل من النطاق المستمر إلى النطاق المتقطع

وسوف يتم التعديل بين قيم مشتق x حيث يتم وصف هذا المتحول اعتماداً على النطاق وفقاً للجدول (3) التالي:

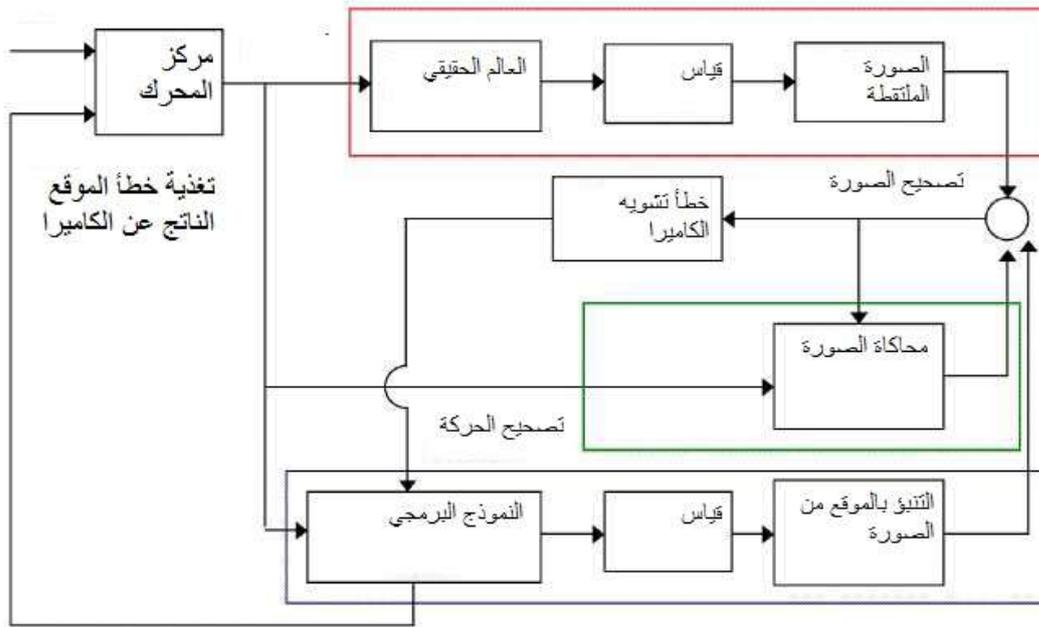
الجدول (3) - متحول السرعة بالزمن الحقيقي والمتقطع

المحدد	الوصف
\dot{x}	تمثيل السرعة
dx/dt	المشتق في النطاق المستمر
$x(n) - x(n-1)$	الفارق بين عينتين في النطاق المتقطع.

النتائج العملية:

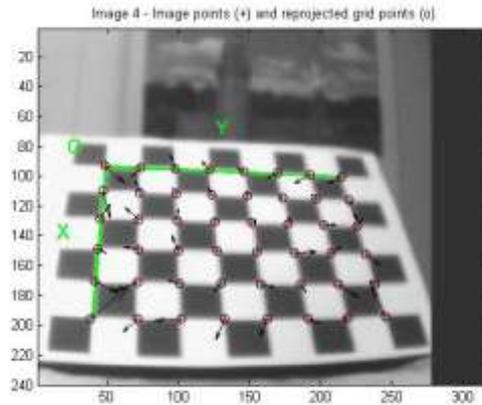
تم تصميم ومحاكاة النظام اعتماداً على برنامج MATLAB حيث تم استخدام نظام معالجة الصورة المبين بالمخطط الصندوقي بالشكل (9) التالي:

الموقع المطلوب وصوله



الشكل (9) - مخطط النظام الخاص بالمعالجة الصورية

لم نحتاج في نظامنا المدروس إلى التحكم بالسرعة إذ أن سرعة الروبوت ثابتة اعتماداً على وزن وصلاته أثناء عملية الملاحقة المقترضة وتم التحكم فقط بالموضع، بعد معايرة الكاميرا وتحديد الخطأ في التصميم والذي يقدر ببضعة ميليمترات تزداد مع الابتعاد عن مركز الكاميرا، تم التركيز على أن يتابع الروبوت مركز الكاميرا فقط وفي حال حركته وانزياحه عن المركز يتم تعويض هذه القيمة بشكل مباشر وببين الشكل (10) التالي ناتج عملية المعايرة الخاصة بالكاميرا اعتماداً على برمجية خاصة ببرنامج MATLAB[8]:



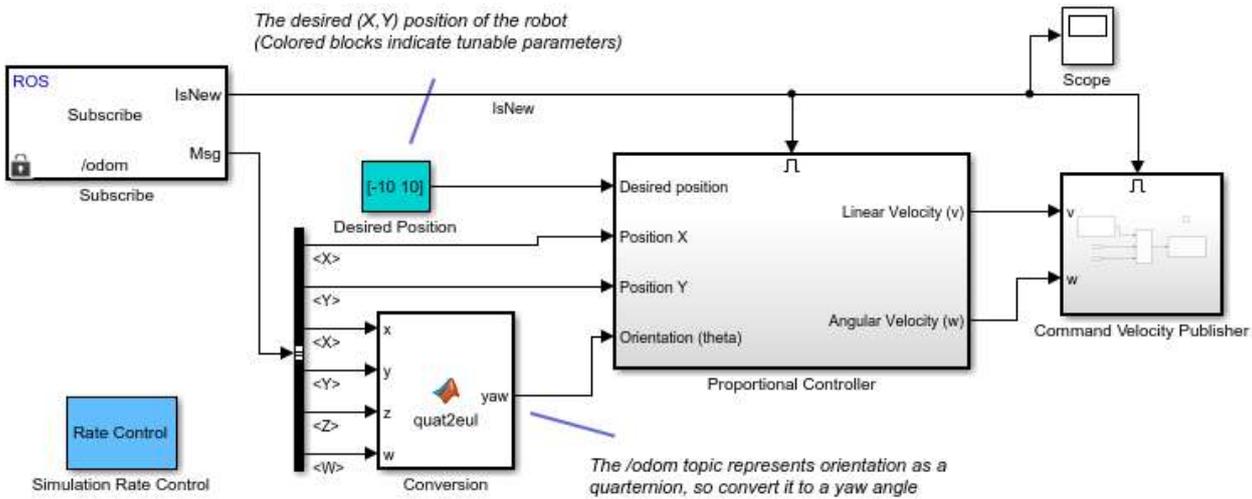
الشكل (10) - نموذج لوح الشطرنج لمعايرة الكاميرا

حيث أعطى البرنامج معدل تشويبه بمقدار 0.53 ميليمتر تقريباً وهو رقم صغير نظرياً ولكن في حال الطلب من الروبوت تقليد عملية جراحية ليد الجراح فإن هذا الرقم يلعب دوراً هاماً على صغره.

$$\text{Distortion: } kc = [-0.28980 \quad -0.21555 \quad 0.00036 \quad -0.00121 \quad 0.00000]$$

$$\text{Pixel error: } err = [0.53523 \quad 0.39822]$$

ولنموذج Simulink المستخدم الشكل (11) التالي:

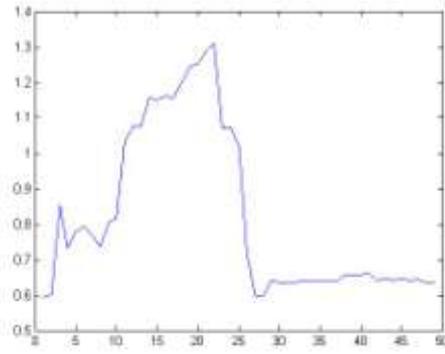


الشكل (11) - مخطط النظام الخاص بالمعالجة الصورية

يتألف هذا النظام من صندوق ROS مهمته التقاط صورة الكاميرا من العالم الخارجي حيث يتم إخراج الإحداثيات X,Y للتحكم بالموضع كما في إحداثيات الكاميرا في حين يتم إدخال الإحداثيات X,y,Z,W من أجل استنتاج احداثيات الزاوية - الإحداثيات الكروية - الخاصة بالروبوت حيث يتم تحويلها إلى إحداثيات خطية ودورانية يتم تزويدها للمحرك. بالنسبة لمصفوفة الموقع المطلوب والمبينة باللون الأزرق، يتم هنا تعويض مقدار الإزاحة الناتجة عن خطأ معايرة الكاميرا بالبيكسل. ويتم استنتاج المخططات وعرضها على راسم عرض Scope.

يقوم الصندوق simulation rate control بتحديد مواصفات المحركات ومعدلات السرعة والتسارع المطلوبة. عند قيام ذراع الروبوت بالتحرك أثناء ملاحقة هدف ما تتعرض المحركات لحالات اهتزاز مما بسبب عدم دقة المتحكم المستخدم واهتزاز الكاميرا. تم تعويض خطأ الكاميرا كمحدد دائم وثابت لنظام التغذية الخلفية. تم تكرار عمليات ملاحقة خط مرسوم لعدد من المرات بحيث يعيد الروبوت ملاحقة الخط من دون تعويض الكاميرا مما تسبب بأخطاء متكررة، عند رسم مجال الخطأ بالملييمتر أثناء حركة الروبوت باتجاه المحاور X,Y مع عدد تكرارات مختلفة نلاحظ الإزاحة عن الخط المرسوم أثناء حركة الروبوت بمقدار محدد الكاميرا والذي يساوي كما لاحظنا مسبقاً نحو 0.6 ميليمتر، مع ازدياد عدد التكرارات يزداد معدل الاهتزاز مما يسبب المزيد من الإزاحة حيث يقوم المعوض بتعويض قيم الكاميرا وبالتالي يستقر خطأ الإزاحة عند القيمة الحدية.

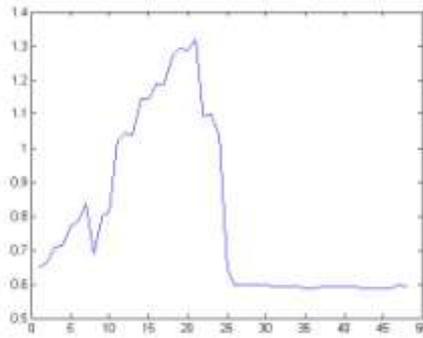
خطأ الإزاحة بالمليمتر



عدد التجارب

الشكل (12) - الخطأ حركة الروبوت باتجاه المحور X

خطأ الإزاحة بالمليمتر



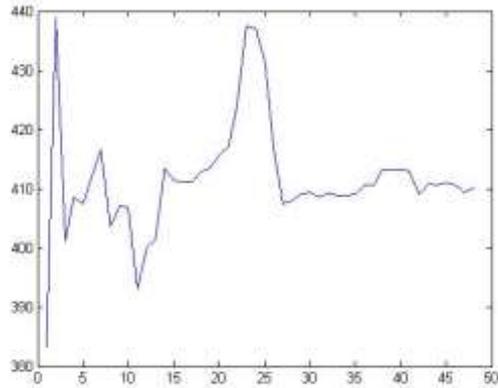
عدد التجارب

الشكل (13) - الخطأ حركة الروبوت باتجاه المحور Y

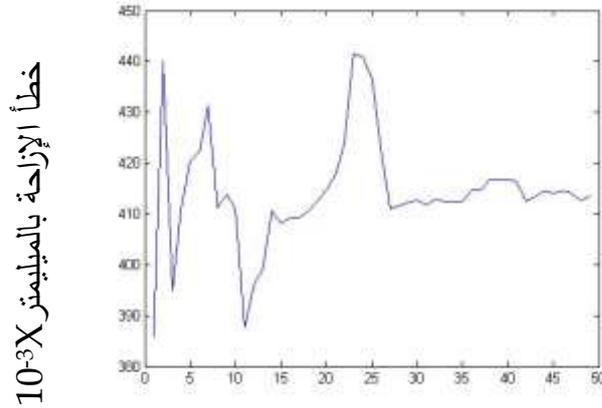
مما سبق نجد أن الفارق بين الفاصل الأكبر والأدنى هو $1.35 - 0.58 = 0.77 \text{mm}$ وهي أدنى دقة حركة يمكن للروبوت القيام بها أثناء إجراء عملية ملاحظة.

مع زيادة سرعة المحركات يزداد معدل الاهتزاز وبالتالي يعاني الروبوت من عدم استقرار في البداية ولكنه يستقر في النهاية على قيمة دقة أعلى بفضل المعوض الذي قام بزيادة الاستقرار حيث اعتمد على الموضع والسرعة أثناء الحركة

خطأ الإزاحة بالمليمتر $10^{-3}X$



الشكل (14) - الخطأ حركة الروبوت بزيادة السرعة باتجاه المحور X



الشكل (15) - الخطأ حركة الروبوت بزيادة السرعة باتجاه المحور Y

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد دراسة المتحكم الخاص بالنظام تمكن المتحكم من تخفيض الخطأ بحيث تمكن من تعويض خطأ الكاميرا ورفع الدقة أثناء عملية الملاحقة، ولكي تتم زيادة سرعة استجابة المحركات لهذه الأخطاء يجب استخدام نظم معالجة عالية السرعة مثل شرائح اردوينو مثلاً بالإضافة إلى استخدام كاميرات ذات معدلات تشويه محرقية أقل. تتمتع محركات التيار المستمر بالفعالية المناسبة لقيادة الروبوت بشرط وجود نظام مستننات مناسب من أجل إيقاف الذراع إلا أنها تعاني من تأثرها من تغير تيار التهييج وبالتالي دخولها في حالات الاهتزاز التي تتسبب أن تهتز حركة المحرك أعلى أو أدنى من الخط المطلوب.

المراجع:

- [1]- Bob Williams, williar,-An Introduction to Robotics.Ohio University,2016.
- [2]-John J. Craig- Introduction to Robotics Mechanics and Control Third Edition 2005
- [3] John J. CraigSecond Editin-Introduction To Robotics , Mechanics and control, 1990.
- [4]-Neil Munro, FrankL.lewis- Robot Manipulator Control Theory and Practice Second Edition, Revised and Expanded,2004
- [5]J.Matas, C.Galambos ,J.kittler-Progressive Probabilistic Hough Transform , University of surrey, 2000.
- [6] James MentzMotion- Control Theory Needed in The Implementation of Practical Robot Systems, , April 2000
- [7] Lewin Edwards -Open-source Robotics and Process Control Cookbook,2005
- [8] Prof. Daniel Huttenlucher-Computer Vision And Recognition , University of comell, 2000.
- [9]-Rick Bickle -DC Motorcontrol systems for robot applications , 2003
- [10]-Daniela Rus (includes some material by Prof. Seth Teller) Jones, Motor Control RSS, 2011
- [11]-Ch.Chengaiiah1 , K.Venkateswarlu2 - comparative study on dc motor speed control using various controllers January 2014