# ٧ـ كيف تبنى "روبوت" حقيقى؟

## المشفرات الضوئية .. ومستشعرات ظاهرة «هول»

د. علاء خميس
كلية هندسة البترول - جامعة قناة السويس

يرى كثير من الباحثين والمتخصصين فى مجال «الروبوتية».. أنه خلال القرن الواحد والعشرين.. سوف تكتسب المنظومات «الروبوتية» الذكية نفس الأهمية التى تتمتع بها الآن منظومات الحاسب الآلى.. وسوف تكون المعرفة «بالروبوتية» لازمة للبقاء الاقتصادى ولضمان المنافسة ضمن متطلبات المعرفة الحالية بمنظومات المعلومات.. وهو ما دفع كثير من الشركات للتنافس لنيل السبق فى مجال إنتاج منظومات «الروبوت» الذكية مثل «الروبوتات» الشخصية القادرة علي التفاعل مع المستخدم البشرى والتى يتوقع أن تحل محل الحاسبات المنزلية التقليدية فى هذا القرن مثل «الروبوت» ER2 ـ شكل رقم (١) ـ الذى تقوم بتطويره شركة Evolution Robotics.

ونظراً للتباين الكبير بين طبيعة آلة مثل الحاسب الآلى و«الروبوت» ـ شكل رقم (٢) ـ فإن المهمة الملقاة على عاتق مصممى المنظومات «الروبوتية» أصعب بكثير من مهمة مصممى المنظومات الحاسوبية. ففى حين تقتصر قدرة الحاسب الآلى على إجراء عمليات رمزية فى عالم معالجة المعلومات الخاص به.. نجد أن «للروبوت» قدرة على أداء مهام عديدة فى عالمنا المادى تتطلب منه القدرة على التفاعل مع بيئة حقيقية ديناميكية

شكل رقم (١) : الروبوت ER2

وغير قابلة للمحاكاة. وسوف يقع على عاتق مصممى المنظومات «الروبوتية» أيضاً ضرورة التلاحم بين «روبوتاتهم» وشبكات المعلومات المختلفة المحلية وربما الخارجية عند الحاجة.

وبالإضافة إلى قدرة «الروبوت» على تناول الأغراض المادية.. فإنه يجب أن يكون قابلاً لإعادة البرمجة لأداء مهام مختلفة.. وأن تكون له القدرة علي التفاعل مع البيئة المحيطة واتخاذ قرارات قائمة على الاستجابة لمتغيرات هذه البيئة والمستجدات التى قد تعترض تنفيذه للمهام الموكلة إليه. وإذا تحققت تلك السمات فى «الروبوت».. يمكن عندئذ وصفه «بالروبوت» الذكى. فعلى الرغم من أن معظم «روبوتات» الطلاء واللحام فى مصانع السيارات يمكن إعادة برمجتها.. إلا أنه من الصعب اعتبارها «روبوتات» ذكية.. لأن ما تقوم به هذه «الروبوتات» فى 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 الاصطناعى. فبتزويد.. إذ يمكن إكساب «روبوت» اللحام بالقوس مثلاً بمستشعرات تتبع عدم الانتظام فى حواف وصلات اللحام بتزويد قدراً من الذكاء يساعده على التغلب على مشكلة عدم انتظام الأسطح بتصحيح وضع أداة اللحام حسب حالة السطح. وفى المستقبل.. ومع تطور تقنيات الذكاء الاصطناعى ومنظومات الإدراك.. سوف تكتسب «الروبوتات» القدرة على إدراك ما تقوم به من أعمال مما سيكسبها القدرة على التفاعل المثمر مع المشرف البشرى فى مواقع الانتاج.

دعونا نتخيل ما يمكن أن يحدث بين «روبوت» تجميع ذكى ومشرف بشرى فى أحد مصانع الغد المؤتمتة كلياً ـ شكل رقم (٣) ـ من خلال محادثة صوتية أو نوافذ تفاعلية..

«ـ المشرف: ما عدد صناديق التروس التى تم تجميعها؟

ـ الروبوت: تم قبول ٢٦ بالاختبار منها

| COMPUTERS | ROBOTS |
|---|---|
| Input symbols are static and well behaved | Sensory signals are noisy and unreliable |
| Operations give consistent results | An action can have different responses |
| Enviroment is fixed and repeatable | Objects may move about independently |
| System only receives intended inputs | Influences from external agent can interfere |
| Perfect Performance assumed for computing environment | Operating environment is unreliable, dynamic and incomplete |

شكل رقم (٢) : التباين بين "الروبوت" والحاسب

٣ بها عيوب أجزاء تم رفضها.. وواحد به أخطاء تجميع تم تعديله.. وآخر به عيوب غير محددة فى مرحلة التجميع ٢١. تقرير التشخيص يشرح الأسباب المحتملة.

ـ المشرف: شرح عيوب التجميع.

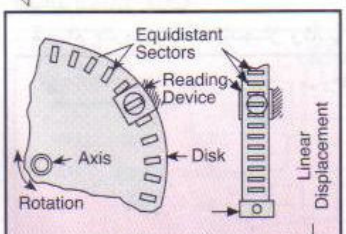
ـ الروبوت: صندوق التروس رقم ١٣ فشل فى اختبار الدوران الحر فى مرحلة التجميع ١٧. انزلاق بسيط تم اكتشافه فى الصندوق ٣.

ـ المشرف: إظهار تقرير الأداء للنوع A.

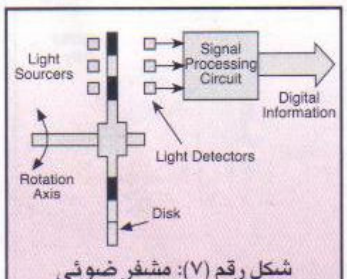
ـ الروبوت: مدة استخدام الحاسب خلال التجميع ٥٢٪ ـ مستوى نشاط المستشعرات ٣٤٪ ـ مدة التغذية الخارجية ٧٪ ـ مدة معالجة الأخطاء ٩٪.

ـ المشرف: طلب مواصفات مضخة من النوع Q.

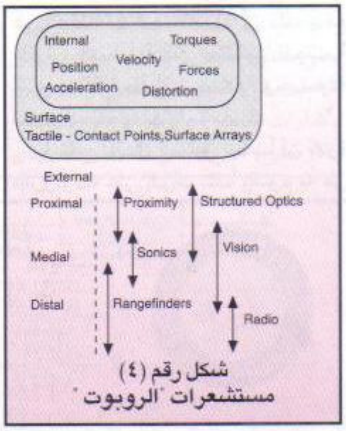
ـ الروبوت: استقبال بيانات من حاسب



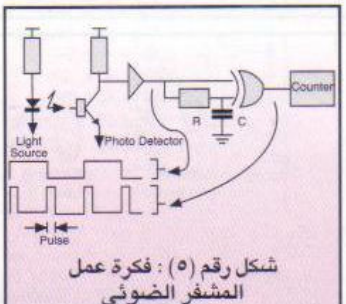

شكل رقم (٦) : مشفر ضوئى دورانى وخطى



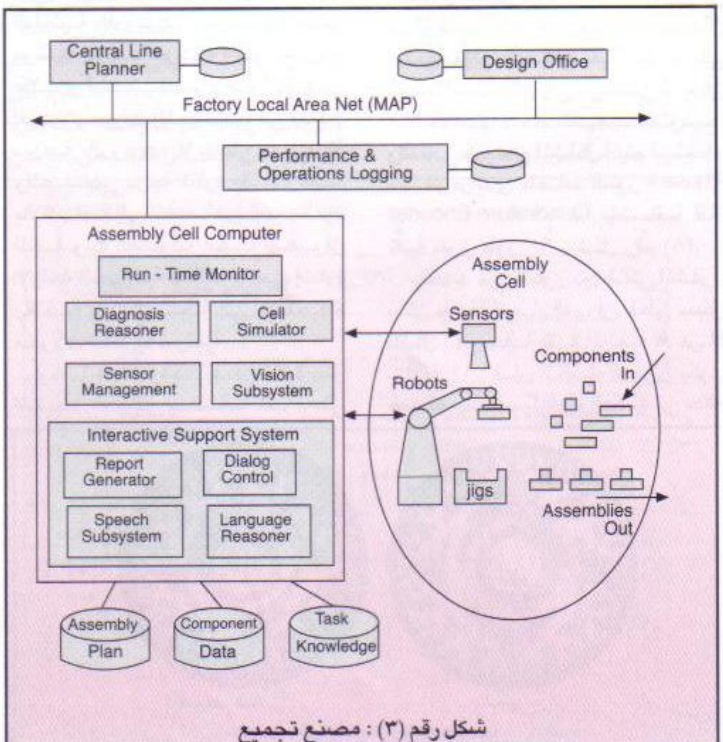

شكل رقم (٧): مشفر ضوئى



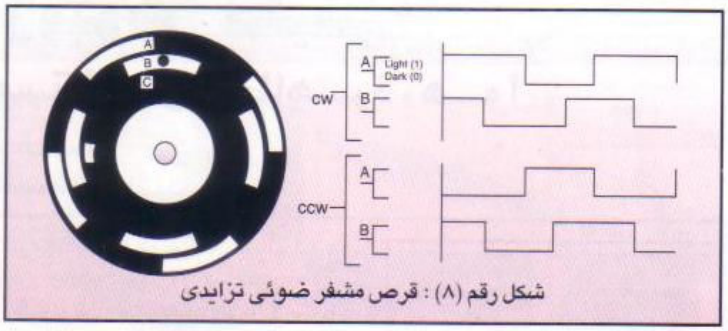

شكل رقم (٤) مستشعرات "الروبوت"




شكل رقم (٥) : فكرة عمل المشفر الضوئى




شكل رقم (٣) : مصنع تجميع



شكل رقم (٨) : قرص مشفر ضوئى تزايدى

مكتب التصميم رقم ٣.

- المشـــــرف: اللـوح الدوار BQ7 تم إعطاؤه اسم مؤقت BQ9 فى مواصفات المضخة.

- الروبوت: تم تعديل اسم الجزء BQ7 إلى BQ9 للمضخة من النوع Q.

- المشرف: استعداد لتجميع دفعة من المضخات من النوع Q.

- الروبوت: بالتـزامن مع دفـعـات صناديق التروس.

- المشرف: لا

- الروبوت: طلب واستقبال خطة التجميع من المخطط المركزى. إعادة تهيئة خلايا العمل وتغيير القوابض. برجاء إدخال أسماء المغذيات.

- المشرف: نقطة التغذية C والخروج من البوابة A وطرد التجميع من البوابة Bوطرد الأجزاء من البوابةD.

- الروبوت: لم يتم اكـتـشـاف أى تعارض.

- المشرف: بدء التجميع.

- الروبوت: جاهز.»

يعطى هذا المثال تصوراً للشكل الذى سوف تكون عليه «روبوتات» المستقبل الذكية والقدرات التى سوف تكتسبها. والتى عن طريقها سوف يصبح دور «الروبوت» رئيسياً فى المجتمع. وسيقل تدريجياً التخوف من استخدام المنظومات «الروبوتية» بالفهم والإدراك المتزايد للحقائق التالية:

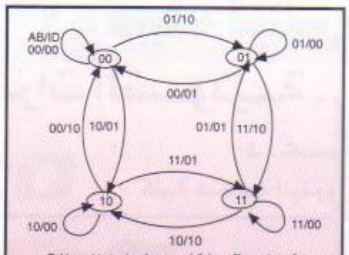
- قيام «الروبوتات» بإنجاز وتأدية المهام التى تتسم بالخطورة والإجهاد والتكرارية.

- زيادة فرص العمل بسبب الصناعات التى تستخدم منظومات الأتمتة و«الروبوتية» كحالة مشابهة للازدهار الكبير لسوق العمل الذى أحدثه الانتشار الواسع للحاسبات مع توقع بعض المشاكل المؤقتة إذا لم تقم القوى العاملة بالتهيؤ لمهارات العمل الجديدة.

- زيادة الإنتاجية نتيجة لاستخدام «الروبوتات» مما سيؤدى إلى اختصار ساعات العمل الأسبوعية مصحوباً بزيادة الدخل وتحسين ظروف العمل. وبالتالى فتح أسواق جديدة.

وكما ذكرنا فى مقال سابق - العدد رقم ٦٧ - فإن الدول الأكثر استخداما للمنظومات «الروبوتية» تنخفض بها معدلات البطالة عن باقى الدول.. وهو ما يثبت خطأ الدعوى بأن «الروبوت» له تأثيرات سلبية مثل تسريح العمال وتعرضهم للبطالة.. لأن هذه الدول استطاعت تحويل «الروبوت» إلى مصدر لطلب الأيدى العاملة عن طريق استحداث صناعة متخصصة فى مختلف مجالات الإنتاج. ومع أن استخدام «الروبوت» يقلص الأيدى العاملة المباشرة المستخدمة فى الصناعات الحديثة.. إلا أن ذلك يدفع بالموارد البشرية التى يمتلكها المجتمع للتوجه لأنشطة اقتصادية وخدمية أخرى يحتاجها احتياجاً ماسا.

يوضح المثال السابق أيضاً أن قدرة «الروبوت» على إدراك ما يقوم به من أعمال والتفاعل مع البيئة المحيطة.. سيكون أهم ما يميز «روبوتات» المستقبل الذكية. وأول خطوات التفاعل مع البيئة - كما ذكرنا فى المقالات السابقة - هو الاستشعار باستخدام منظومات الاستشعار. وقد تم تقسيم المستشعرات (المجسات) إلى نوعين أساسيين حسب المعلومات التى يوفرها المستشعر.. وهما مستشعرات الحالة الداخلية.. ومستشعرات الحالة الخارجية. على أنه يمكن إضافة نوع ثالث يمثل مستشعرات الحالة السطحية التى تعنى باستشعار حالة التلامس مع الأغراض المحيطة وحالات التصادم - شكل رقم (٤).



شكل رقم (٩) : مخطط الحالة لمشفر ضوئى تزايدى

وفى المقال السابق.. تناولنا نوعين من مستشعرات الحالة الداخلية.. وفى هذا العدد نتناول نوعين آخرين.. هما المشفرات الضوئية ومستشعرات ظاهرة «هول».. وسيتم التركيز علي الأولي باعتبارها الأكثر استخداماً لقياس سرعة «الروبوت».

## المشفرات الضوئية
## Optical Encoders

تعتبر المشفرات الضوئية من مستشعرات (مجسات) الحالة الداخلية التى تعنى بدراسة ومعرفة الحالة الداخلية «للروبوت».. من حيث تقدير موضعه واتجاه حركته وسرعته.. إلخ. يكثر استخدام هذا النوع من المستشعرات (المجسات) فى تعيين سرعة «الروبوت» لما يتمتع به من دقة وانخفاض درجة تأثره بالضوضاء بالإضافة إلى انخفاض ثمنه. تقوم المشفرات الضوئية أيضاً بتحويل الإزاحة الدورانية مباشرة إلى إشارة رقمية دون الحاجة إلى استخدام محولات تناظرية - رقمية.

وكما هو معروف.. فإن فكرة عمل المشفر الضوئى ببساطة تقوم على إرسال شعاع ضوئى من خلال مصدر ضوئى مثل «دايود» ضوئى واستقباله بواسطة وحدة استقبال مثل مقاومة ضوئية - شكل رقم (٥). ولقياس زاوية الدوران.. يتم حساب عدد النبضات باستخدام عداد نبضات. ويمكن استخدام هذا المشفر فى قياس الإزاحة الدورانية أو الخطية - شكل رقم (٦).

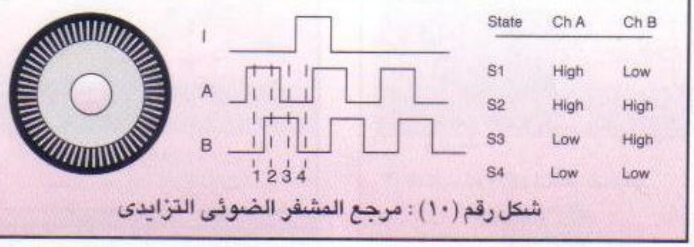
ويعيب هذا النوع من المشفرات.. عدم القدرة على تحديد اتجاه الحركة. لذا.. يتم تثبيت قرص بعامود الإدارة يحتوى على خلايا شفافة وأخرى معتمة بين وحدت الإرسال والاستقبال - شكل رقم (٧).

يمكن تقسيم هذا النوع من المشفرات إلى مشفرات تزايدية أو نسبية Incremental Encoders يمكن استخدامها فى قياس السرعة الدورانية ومنها يمكن حساب الموضع النسبى.. ومشفرات مطلقة Absolute Encoders تقوم بقياس الموضع الزاوى المطلق ومنه يتم حساب السرعة.

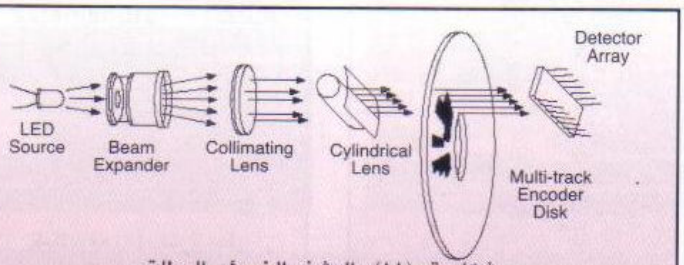
### المشفرات الضوئية التزايدية
### Incremental Optical Encoders

يعتبر مشفر «التاكو» أحادى القناة Single Channel Tachometer من أبسط أنواع المشفرات التزايدية.. حيث يستخدم قاطع ضوئى متناوب Chop-per فى توليد عدد من موجات جيب الزاوية أو نبضات موجات مربعة مع كل دورة لعامود الإدارة. وبزيادة عدد النبضات.. تزداد الدقة وبالتالى تكلفة الوحدة. وعادة ما يتم استخدام هذه المشفرات كمستشعرات تغذية مرتدة فى منظومات التحكم متوسط أو عالى السرعة.. حيث يتعرض المستشعر لمشاكل الضوضاء وعدم الاتزان فى حالة السرعات المنخفضة.. كما أن مستشعرات «التاكو» غير قادرة على تحديد اتجاه الدوران.. وبالتالى لا يمكن استخدامها كمستشعرات موضع. وللتغلب على هذه المشاكل.. يتم استخدام مشفر تزايدى متعامد الطور Phase - Quadrature Encoder بإضافة قناة ثانية بفرق طور ٩٠° - شكل رقم (٨).

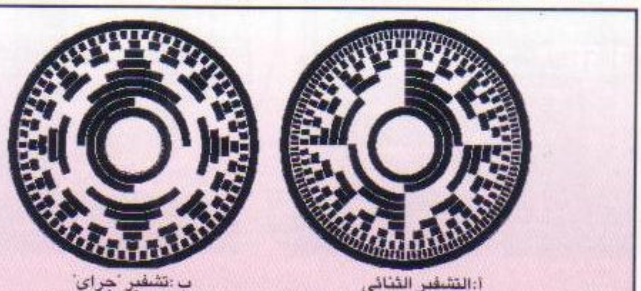
بتحديد فرق الطور بين قناتى المشفر.. يمكن معرفة اتجاه الدوران. فعلى سبيل المثال.. فى حالة تقدم الموجه A عن B بزاوية ٩٠°.. فإن اتجاه الدوران يكون ضد عقارب الساعة.. والعكس فى حالة



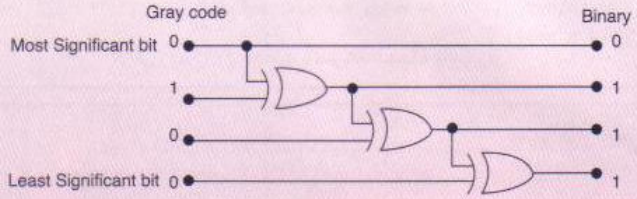
شكل رقم (١٠) : مرجع المشفر الضوئى التزايدى



شكل رقم (١١) : المشفر الضوئى المطلق


ا: التشفير الثنائى
ب :تشفير "جراى"
شكل رقم (١٢) : طرق التشفير

| Decimal Number | Binary Code | Gray Code | Decimal Number | Binary Code | Gray Code |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0000 | 0000 | 8 | 1000 | 1100 |
| 1 | 0001 | 0001 | 9 | 1001 | 1101 |
| 2 | 0010 | 0011 | 10 | 1010 | 1111 |
| 3 | 0011 | 0010 | 11 | 1011 | 1110 |
| 4 | 0100 | 0110 | 12 | 1100 | 1010 |
| 5 | 0101 | 0111 | 13 | 1101 | 1011 |
| 6 | 0110 | 0101 | 14 | 1110 | 1001 |
| 7 | 0111 | 0100 | 15 | 1111 | 1000 |




شكل رقم (١٣) : علاقة تشفير "جراى"

تقدم B عن A حيث يكون الاتجاه مع عقارب الساعة. يوضح الشكل رقم (٩) مخطط الحالة لدائرة المشفر التى تستقبل إشارتى دخل A و B وتولد إشارتى خرج I(Increase) أو D(Decrease) اللتين يمكنهما التحكم فى عداد المشفر.

ونظراً للطبيعة التزايدية لإشارة خرج المشفرات متعامدة الطور.. فإن الموضع الزاوى يكون منسوباً إلى مرجع معين يتم ضبطه بطرق عديدة.. بعكس المشفرات المطلقة التى لا تحتاج إلى مرجع . وفى تطبيقات الدوران المتصل ٣٦٠ تحتوى معظم المشفرات التزايدية على قناة ثالثة لإشارة خرج دليل Index Output تعطى قيمة عظمى High مرة واحدة عند اكتمال دورة عامود الإدارة ـ شكل رقم (١٠). ويتم تعيين موضع عامود الإدارة بحساب عدد النبضات ابتداءً من موضع الدليل. من عيوب هذه الطريقة.. فقدان معلومات الموضع النسبى فى حالة انقطاع التغذية عن دائرة المشفر.

وفى حالة الدوران المحدود مثل الحركة الأمامية أو الخلفية لمحور حركة بانورامية أو انحدارية Pan/Tilt Axis.. يمكن استخدام مفاتيح كهربية Limit Switches أو فرملة ميكانيكية لتحديد موضع مرجع للمشفر الضوئى. وبالإضافة إلى القدرة على تحديد اتجاه الدوران.. يتميز هذا المشفر بزيادة الدقة فى تعيين السرعة بالمقارنة بالمشفر أحادى القناة.

### المشفرات الضوئية المطلقة
### Absolute Optical Encoders

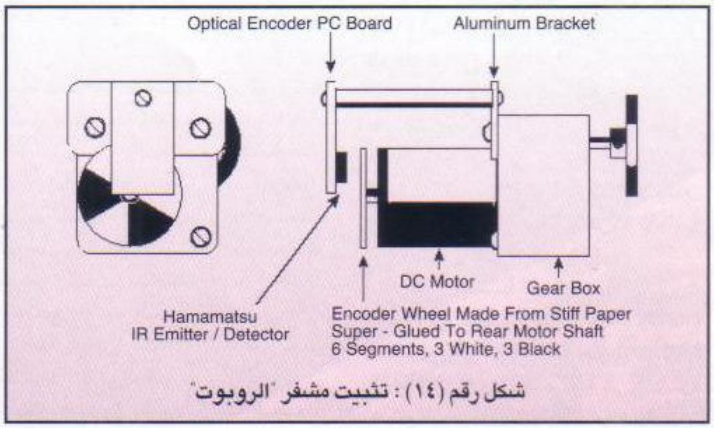
تستخدم هذه المشفرات فى منظومات التحكم منخفضة السرعة والتى تتطلب معلومات عن الموضع الزاوى المطلق. وتعتمد فكرة العمل على تثبيت عدة عناصر كشفية فى صورة مصفوفة Detector Array يتم تشكيلها من وحدات خلايا جهد ضوئية Photovoltic لاستقبال الأشعة النافذة من قرص يحتوى على أجزاء معتمة وأخرى شفافة ـ شكل رقم (١١). وفى هذه الحالة.. يتم الحصول على شفرة وحيدة مناظرة لكل موضع زاوى من مواضع عامود الإدارة. وعند تشكيل القرص.. يراعى اختيار طريقة التشفير المناسبة لضمان الحصول على قراءة صحيحة.. ففى حالة استخدام التشفير الثنائى.. نجد أنه يمكن أن تحدث مشكلة فى حالة عدم تزامن المنظومة الميكانيكية مع المنظومة الالكترونية للمشفر.. وخاصة عند الانتقال من ٢٥٥ إلى صفر فى قرص ٨ بت كما هو موضح فى الشكل رقم (١٢ ـ أ).. حيث تتغير ٨ بت فى نفس الوقت من واحد إلى صفر عند الدوران مع عقارب الساعة. وللتغلب على هذه المشكلة.. يستخدم تشفير «جراى» Gray Code ـ نسبة إلى «فرانك جراى» مخترع الطريقة بمعامل «بل» عام ١٩٥٣ ـ وفيه يتم السماح بتغير بت واحد فقط مع أى انتقال بين موضعين ـ شكل رقم (١٢ب ). ويوضح الشكل رقم (١٣) مثالاً لتشفير «جراى» وعلاقته بالتشفير الثنائى لقرص ٤ بت.

والعيب الأساسى للمشفرات المطلقة.. هو أن إشارات الخرج تكون فى صورة توازى Parallel Data O/P.. مما يتطلب وصلة بينية Interface أكثر تعقيداً وذلك لزيادة عدد الأسلاك الكهربية. فعلى سبيل المثال.. يتطلب مشفر مطلق ١٣ بت ٢٨ كابل توصيل (١٣ زوج لإشارات الخرج بالإضافة إلى التغذية والأرضى) على عكس المشفر التزايدى الذى يحتاج إلى ٦ وصلات فقط.

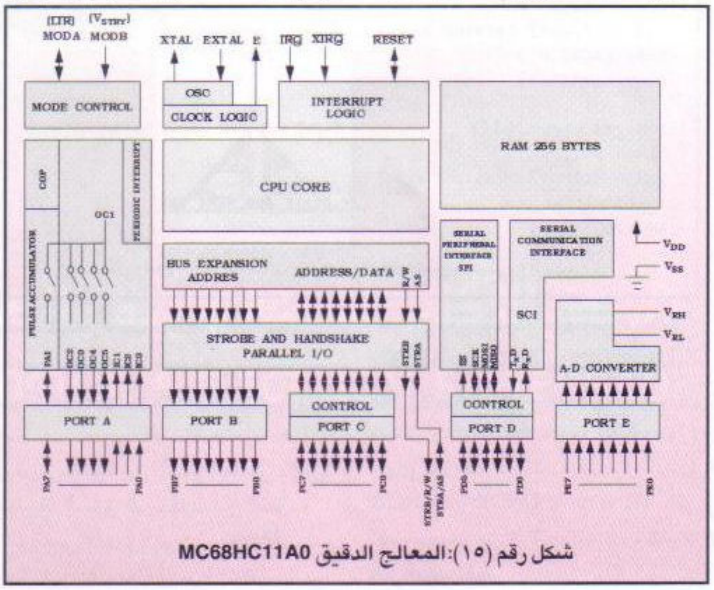
### قراءة خرج المشفر

لقياس سرعة «الروبوت».. يمكن استخدام مشفر ضوئى فى صورة عاكس ضوئى Photoreflector يحتوى على «دايود» Infrared Diode به وحدتا إرسال واستقبال وقرص به خلايا معتمة وأخرى شفافة.. ويتم تثبيته فى عامود إدارة المحرك.. ويوضع «الدايود» الضوئى فى مواجهة القرص ـ شكل رقم (١٤). يمكن شراء المشفر الضوئى كوحدة مستقلة أو وحدة مكملة للمحرك الكهربى.

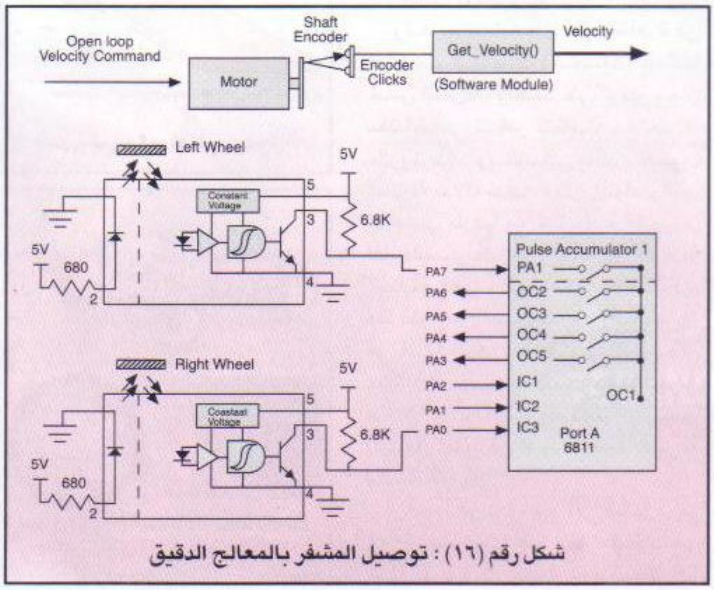
نستعرض ـ كمثال ـ كيفية قراءة خرج المشفر الضوئى "Hamamatsu P5587s" وهو عاكس ضوئى يحتوى على وحدات لتكبير وتهيئة إشارة خرج المشفر. باستخدام معالج دقيق مثل "Motorola MC68HC 11A0" ـ شكل رقم (١٥) ـ نجد أنه يحتوى على خمس موانى حيث يحتوى الميناء A على العداد الزمنى للمعالج والذى يتم توصيل المشفر به ليتم عد النبضات المتولدة فى المشفر ومنها تحسب سرعة «الروبوت». وكما هو موضح بالشكل رقم (١٦).. فإن كل ما يتطلبه هذا المشفر لوصله بالمعالج الدقيق هو مقاومتين تعمل




شكل رقم (١٤) : تثبيت مشفر "الروبوت"




شكل رقم (١٥):المعالج الدقيق MC68HC11A0

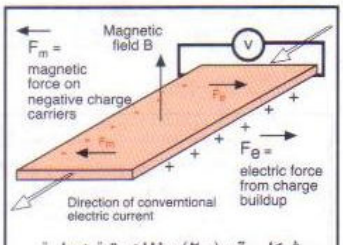



شكل رقم (١٦) : توصيل المشفر بالمعالج الدقيق

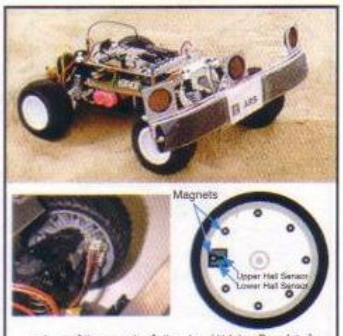
إحداهما على سحب خرج المقاومة الضوئية Open - Collector O/P.. والأخرى على التحكم فى التيار المار خلال «الدايود» الضوئى. ويتم توصيل مشفر العجلة اليسرى «للروبوت» بنقطة التوصيل PA7 التى تعمل كمجمع أو مركم نبضات Pulse Accumulator.. والمشفر الآخر بنقطة التوصيل PA0 المتصلة بالدائرة المتكاملة IC3 التى تعمل كمسجل Register.

للحصول على سرعة العجلة اليسرى.. نجد أن مجمع النبضات المتصل به مشفر العجلة اليسرى يحتوى على وحدتى مسجل ٨ بت PACNT و PACTL يتم استخدامهما لحساب عدد النبضات الداخلة إلى نقطة التوصيل PA7. ولتحقيق ذلك.. يمكن استخدام برنامج الـ«C» الموضح بالشكل رقم (١٧).. حيث يمكن الحصول على سرعة العجلة اليسرى باستدعاء الدالة get _ left _ vel بصورة دورية. وفى هذه الحالة.. تكون وحدة السرعة هى عدد نبضات المشفر مقسومة على الفترة الزمنية المنقضية بين استدعاءين متتابعين للدالة get _ left _ vel.

ونظراً لأن المعالج الدقيق "MC68HC11A0" يحتوى على مجمع نبضات وحيد.. فإن الحصول على سرعة العجلة اليمنى يعتبر أكثر صعوبة.. حيث يتم استخدام ثلاث مسجلات من الدائرة المتكاملة IC3 المتصلة بنقطة التوصيل PA0 وهى TCTL2, TFLG1, TMSK1.. ويتم الاستعانة بالبرنامج الفرعى المبين بالشكل رقم (١٨) لعد النبضات المتولدة فى مشفر العجلة اليمنى.



شكل رقم (٢٠) : ظاهرة "هول"



شكل رقم (٢١) : استخدام مستشعرات ظاهرة "هول" فى الروبوت Merlin

```
int PACTL = 0x1026; /* Pulse accumulator control, 8-bit reg */
int PACNT = 0x1027; /* Pulse accumulator counter, 8-bit reg */

void init_velocity() /* Initialize hardware for vel monitoring */
{ poke(PACTL, 0b01010000); /* PA7 input, enable pulse acc, */
                           /* rising edge */
  poke(PACNT,0); }  /* Start with 0 measured velocity */

float get_left_vel() /* Left vel from PA7 using pulse counter */
{ float vel;
  vel = (float) peek(PACNT);
  poke(PACNT,0);     /* Reset for next call */
  return(vel); }
```
شكل رقم (١٧) : حساب سرعة العجلة اليسرى

```
TFLG1 EQU $1023                ;Timer Flag 1, 8-bit reg
ORG MAIN_START                 ;Origin for assembly module

subroutine_initialize_module:  ;This module runs on reset
  ldd #IC3_interrupt_handler   ;16-bit addr of intrpt handler
  std $FFEA                    ;Store in IC3 intrpt vector
  cli                          ;Enable interrupts generally
  rts                          ;Return from subroutine

variable_right_clicks:         ;Create a C variable, right_clicks
  fdb 0                        ;Fill double byte, 16 bits.right_clicks = 0

IC3_interrupt_handler:
  ldd variable_right_clicks
  addd #1                      ;Add one more encoder count
  std variable_right_clicks
  ldaa #%00000001              ;Clear the IC3 flag by writing a one
  staa TFLG1                   ;Store in TFLG1 to clear IC3 flag
  rti                          ;Return from interrupt
```
شكل رقم (١٨) : حساب سرعة العجلة اليمنى

```
int TCTL2 = 0x1021; /* Timer Control 2,8-bit reg,interrupt edge */
int TMSK1 = 0x1022; /* Timer Interrupt Masks, 8-bit reg */
int TFLG1 = 0x1023; /* Timer Flags, 8-bit reg */
int PACTL = 0x1026; /* Pulse accumulator control, 8-bit reg */
int PACNT = 0x1027; /* Pulse accumulator counter, 8-bit reg */

void init_velocity()            /* Call to begin vel monitoring */
{ poke(PACTL, 0b01010000);    /* PA7 in, ena pls acc, rising edg */
  poke(PACNT,0);               /* Start with 0 measured velocity */
  bit_clear(TCTL2,0b00000010);/* IC3 interrupts on rising edges */
  bit_set(TCTL2,0b00000001);  /* IC3 interrupts on rising edges */
  bit_set(TMSK1,0b00000001); } /* Enable only IC3 interrupts */

float get_left_vel()            /* Left vel from PA7, pulse ctr */
{ float vel;
  vel = (float) peek(PACNT);
  poke(PACNT,0);               /* Reset for next call */
  return(vel); }

float get_right_vel()          /* Right vel PA0 using interrupt */
{ float vel;
  vel = (float) right_clicks;
  right_clicks = 0;            /* Reset for next call */
  return (vel); }
```
شكل رقم (١٩) : حساب سرعتى العجلتين اليمنى واليسرى

## مستشعرات ظاهرة «هول»
## "Hall" Effect Sensors

تعتمد فكرة عمل هذه المستشعرات (المجسات) على ظاهرة «هول».. وملخصها أنه فى حالة مرور تيار كهربى فى موصل موضوع فى مجال مغناطيسى فإن هذا المجال يؤثر بقوة عمودية على حوامل الشحنات الكهربية مما يؤدى إلى دفع هذه الشحنات إلى جانب من جوانب الموصل ـ للشكل رقم (٢٠). ويؤدى تراكم الشحنات الموجبة على الجانب الآخر.. إلى معادلة تأثير المجال المغناطيسى بقوة كهربية مساوية فى المقدار ومضادة فى الاتجاه للقوة المغناطيسية. ويعرف فرق الجهد الناتج بين جانبى الموصل بجهد «هول» ـ نسبة إلى مكتشف الظاهرة عام ١٨٧٩ ـ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$V_H = I.B/n.e.d$$

حيث.. n : كثافة حوامل الشحنة ـ e : شحنة الالكترون.

وقد تم استغلال هذه الظاهرة فى إنتاج مستشعرات (مجسات) يمكنها قياس السرعة. وتعتمد على توفير مجال مغناطيسى تتغير كثافته مع حركة «الروبوت».. وبالتالى يمكن تعيين السرعة بدلالة جهد «هول» المتولد والذى يتناسب طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسى كما هو واضح من العلاقة السابقة. فعلى سبيل المثال.. تم استخدام هذا النوع من المستشعرات (المجسات) فى قياس سرعة «الروبوت» الجوال «Merlin» حيث تم تثبيت مستشعرين فى كل عجلة يقوم أحدهما بقياس المسافة المقطوعة والآخر بتحديد السرعة واتجاه الدوران.

وكما هو موضح فى الشكل رقم (٢١).. يتم تثبيت عدة مغناطيسيات فى عجلة «الروبوت» حيث يقوم المستشعر باستشعار وجود المجال المغناطيسى عندما يكون المغناطيس فى مواجهة المستشعر. ومع حركة «الروبوت».. تتولد نبضات كهربية نتيجة ظاهرة «هول» يمكن إرسالها إلى المعالج الدقيق بنفس الطريقة السابق شرحها لقياس السرعة.

وفى الروبوت «Merlin».. تم استخدام ٨ مغناطيسيات بقطر ٤ مم وطول ٥مم ومستشعرين من النوع 41E925 يحتويان على Schmidt Trig-ger ويفصل المغناطيسيات عن المستشعرين مسافة ٤ مم. وهناك أنواع أخرى من هذه المستشعرات مثل الدائرة المتكاملة Panasonic DN6851 التى تعمل بجهد من ٣,٦ – ١٦ ف وتيار ٨ ملل أمبير فقط.