١٠ ـ كيف تبنى "روبوت" حقيقى؟
مستشعرات الأشعة تحت الحمراء

د. علاء خميس
كلية هندسة البترول - جامعة قناة السويس

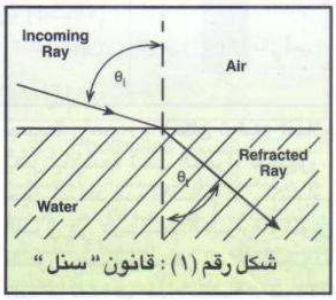
في هذا العدد.. نستكمل عرض مستشعرات الحالة الخارجية للروبوتات الشخصية والتي تعني بمعرفة الصفات والحالة الهندسية للأغراض التي يتعامل معها الروبوت. وفي المقال السابق.. تم الإشارة إلى مستشعرات تحديد المدى Rangefinders كمستشعرات حالة خارجية تعتمد فكرة عملها على ظاهرتي البث والارتداد.. حيث يقوم المستشعر بإرسال موجة صوتية أو ضوئية أو موجة راديو باستخدام وحدة إرسال.. ثم يتم استقبال الموجة بعد انعكاسها. ومن خلال قياس زمن الرحلة.. يمكن معرفة المسافة الفاصلة بين المستشعر والعائق المسبب لارتداد الموجة. لذا.. تسمى هذه المستشعرات أحيانًا بمستشعرات زمن الرحلة Time-of-Flight (TOF). وقد عرضنا في المقال السابق.. كيفية استخدام الطاقة الصوتية في صورة مستشعرات «السونار» لمساعدة الروبوت على اكتشاف البيئة المحيطة به وتجنب الاصطدام بالعوائق. وفي هذه الدراسة.. سيتم شرح كيفية استخدام الطاقة الكهرومغناطيسية لتحقيق نفس الغرض. وتنقسم مستشعرات تحديد المدى المعتمدة على الإشعاع الكهرومغناطيسي إلى:

- مستشعرات «ليدار» LIght Direction and Ranging (Lidar).. وتعتمد على استخدام الموجات الضوئية.. ومن أشهرها مستشعرات الأشعة تحت الحمراء ومستشعرات الليزر.
- مستشعرات «الرادار» RAdio Direction and Ranging (RADAR).. وفيها تستخدم موجات بتردد الراديو.

تتناول هذه الدراسة بالتفصيل.. فكرة عمل وطريقة استخدام مستشعرات الأشعة تحت الحمراء.

الإشعاع المغناطيسى

تم اكتشاف الأشعة الكهرومغناطيسية على مراحل.. وكان العالم الألماني «هيرتز» أول من عمل في هذا المجال -عام ١٨٨٤- حيث قام بتوضيح وتوسيع النظرية الكهرومغناطيسية للضوء التي وضعها الفيزيائي الإنجليزي «ماكسويل» والذي كان أول من اكتشف موجات الراديو واستطاع إرسال واستقبالها عام ١٨٨٨ وذلك قبل الإيطالي «ماركوني» بحوالي خمس سنوات. وبعد اكتشاف وجود أشعة الراديو والأشعة المرئية.. تم اكتشاف باقي الطيف الكهرومغناطيسي من خلال الملاحظات والظواهر الفيزيائية. يوضح الجدول رقم (١) الأطوال الموجية وترددات وطاقة الأنواع المختلفة من الأشعة الكهرومغناطيسية.



شكل رقم (١) : قانون "سنل"

وتختلف الموجات الكهرومغناطيسية عن الموجات الصوتية في كثير من الصفات.. فعلى سبيل المثال.. ينتقل الصوت ببطء في صورة موجات طولية.. بينما تنتشر الطاقة الضوئية وموجات الراديو في صورة موجات كهرومغناطيسية بسرعة الضوء. وبينما يتطلب انتقال الموجات الصوتية وسط انتشار.. فإنه يمكن للضوء الانتشار في الفراغ.

وتعتمد سرعة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية على طبيعة وسط الانتشار.. وهو ما يوضحه معامل إنكسار الوسط.. فباعتبار أن سرعة الضوء في الفراغ C وسرعته في الوسط Cm.. فإن معامل الانكسار يعطي من المعادلة: n=C/Cm. في حالة الهواء تكون n=1.003 وللماء n=1.33.. وهو ما يوضح أن سرعة الانتشار في الماء أقل من الهواء. ويتسبب هذا التغير في سرعة الضوء في انحناء الموجات الضوئية عند انتقالها من وسط إلى آخر وهو ما يتم وصفه بقانون «سنل» Snell – شكل رقم (١):

$$n_1 \sin\theta_i = n_2 \sin\theta_t$$

حيث.. n_1: معامل الانكسار في الوسط الأول – n_2: معامل الانكسار في الوسط الثاني – θ_i: زاوية السقوط بالنسبة للمستوى العمودي – θ_t: زاوية الانكسار بالنسبة للمستوى العمودي.

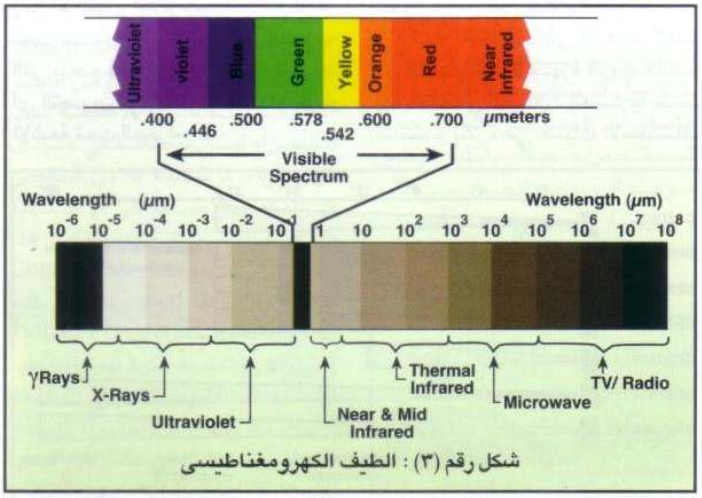
وقد وجد أن معامل الانكسار يعتمد على خواص ذرات الوسط وتردد الموجات الكهرومغناطيسية.. وهو ما توضحه المعادلة التالية:

$$n = 1 + \left[N_{q_0}^2 / 2\varepsilon_0 m(\omega_0 - \omega^2) \right]$$

حيث.. N: عدد الشحنات في وحدة الحجوم – q_0: شحنة الالكترون – n: كتلة الالكترون – ω: تردد الإشعاع المغناطيسي – ω_0: تردد رنين الالكترون.

ومن هذه المعادلة.. يتضح أن n تزداد ببطء بزيادة التردد – أي عند اقتراب ω من ω_0 – وهو ما يسبب ظاهرة قوس قزح.. حيث يؤدى اختلاف معامل الانكسار إلى ظهور ألوان مختلفة (معامل انكسار الضوء الأزرق مثلاً أقل من نظيره للضوء الأحمر). وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة التشتت Disperssion.. حيث يتسبب اعتماد معامل الانكسار على قيمة التردد في تشتت الضوء إلى ألوان مختلفة كما هو الحال عند استخدام منشور زجاجي.

شكل رقم (٢) : صورة حرارية



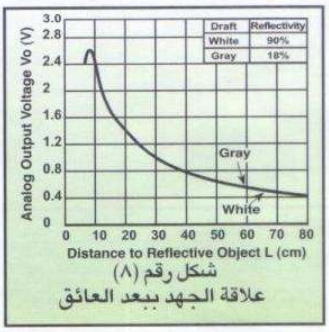
شكل رقم (٣) : الطيف الكهرومغناطيسى

جدول رقم (١): الطيف الكهرومغناطيسي

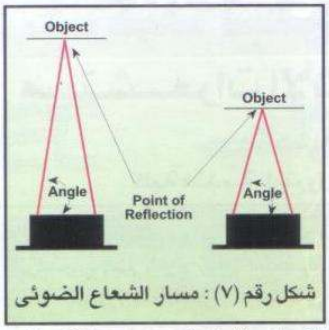
Radiation	Wavelength (Angstroms)	Wavelength (centimeters)	Frequency (Hz)	Energy (eV)
Radio	$> 10^9$	> 10	$< 3X10^9$	$< 10^{-5}$
Microwave	$10^9 - 10^6$	$10 - 10^{-2}$	$3X10^9 - 3X10^{12}$	$10^{-5} - 10^{-2}$
Infrared	$10^6 - 7X10^3$	$10^{-2} - 7X10^{-5}$	$3X10^{12} - 4.3X10^{14}$	$10^{-2} - 2$
Visible	$7X10^3 - 4X10^3$	$7X10^{-5} - 4X10^{-5}$	$4.3X10^{14} - 7.5X10^{14}$	$2 - 3$
Ultraviolet	$4X10^3 - 10$	$4X10^{-5} - 10^{-7}$	$7.5X10^{14} - 3X10^{17}$	$3 - 10^3$
X-Rays	$10 - 10^{-1}$	$10^{-7} - 10^{-9}$	$3X10^{17} - 3X10^{19}$	$10^3 - 10^5$
Gamma Rays	$< 10^{-1}$	$<10^{-9}$	$> 3X10^{19}$	$> 10^5$

جدول رقم (٢): مقارنة بين مستشعرات «السونار» والأشعة تحت الحمراءIR

وجه المقارنة	Sonar	IR
المدى	٠,٤١ – ١٠,٥م	٠,٠٤–١,٥٠م
الدقة	عالية في مدى أكبر من ٤٠سم	عالية في مدى ٢٤ سم
التأثر بالوان العوائق	غير حساس	حساس
التأثر بالعوامل الجوية	حساس لتغير سرعة الصوت بتغير العوامل الجوية (العدد ٧٨)	غير حساس
استهلاك القدرة	أكبر من (١٠٠–٢٠٠ملي أمبير)	أقل من (٣٠–٢٥٠ ملي أمبير)
التكلفة	أعلى	أقل



شكل رقم (٨)
علاقة الجهد ببعد العائق



شكل رقم (٧) : مسار الشعاع الضوئي

شكل رقم (٤) : جهاز رؤية ليلية

شكل رقم (٥) : الروبوت B21r

الأشعة تحت الحمراء Infrared

تم اكتشاف الأشعة تحت الحمراء الصادرة من الشمس لأول مرة على يد العالم الإنجليزي «فريدريك وليام» عام ١٨٠٠.. وكان أول استخدام لهذه الأشعة في مجال التصوير الفوتوغرافي في بداية القرن التاسع عشر.. إلا إنه لم يتم التمكن من استخدام هذه التقنية بسهولة ويسر إلا في عام ١٩٣٠.. حيث تم تطوير مواد ذات صبغة خاصة بالأشعة تحت الحمرء.. فقد كانت المواد الحساسة للأشعة تحت الحمراء السابقة بطيئة السرعة. ومع التحسن في طرق تصنيع مستحلبات التصوير الفوتوغرافي واكتشاف أصباغ جديدة.. أصبح بالإمكان توفير أفلام تعمل بالأشعة تحت الحمراء للجمهور.. حيث تساعد هذه الأفلام على اكتشاف الفرق في درجات الحرارة وتكوين صور حرارية يمكن للعين المجردة تمييزها كما هو مبين بالشكل رقم (٢). وبزيادة درجة حرارة الجسم تزداد كمية الأشعة المنبعثة منه وبالتالي يزداد وضوح الصورة. وتوضح معادلة "Stephan -Boltzman" العلاقة بين كمية الطاقة المشعة المنبعثة من جسم (W) ودرجة حرارته المطلقة (T) :

$$W = \varepsilon \sigma T^4$$

حيث.. ε: إشعاعية الجسم Emissivity – σ: معامل «استيفان بولتزمان» (5.67×10^{-12} watt/cm^{2}K^4).

وكما هو موضح بالشكل رقم (٣).. تقع الموجات تحت الحمراء ما بين نطاق الضوء المرئي وموجات «الميكروويف». ويحتوي هذا النطاق على عدة أطوال موجية تقسم إلى ثلاثة أقسام:

أ- الأشعة تحت الحمراء البعيدة أو الحرارية Far or Thermal Infrared:

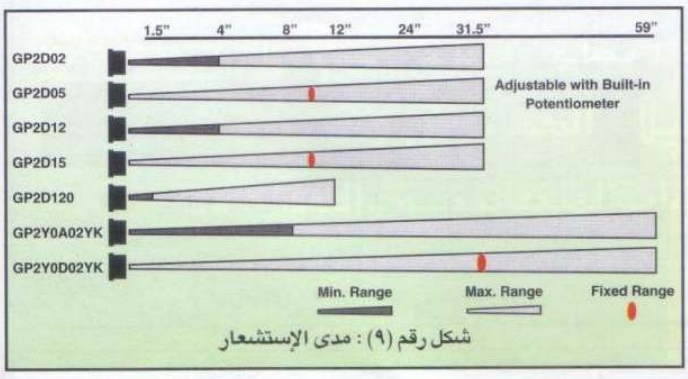
وهي الأشعة القريبة من موجات «الميكروويف» والتي تحتل أكبر مدى من الطيف الكهرومغناطيسي من ٣-٣٠ ميكرون). تنبع هذه الأشعة من مصادر حرارية مثل الشمس أو أي جسم ساخن.. ويمكن للإنسان اكتشافها من خلال النهايات العصبية الحساسة في الجلد والتي تقوم باكتشاف الفرق بين درجة حرارة الجلد ودرجة حرارة الجسم الداخلي. وقد تم استخدام هذه الموجات في كثير من التطبيقات العملية.. ومنها مجال الطب حيث تستخدم في معالجة بعض الأمراض الجلدية وتخفيف الآلام التي قد تصيب العضلات.. وذلك بتسليطها على جسم المريض حيث تخترق الجلد وتعمل على تدفئته بدرجة معينة لتنشيط الدورة الدموية.

وفي مجال الصناعة.. استخدمت الأشعة تحت الحمراء في بعض الأفران الخاصة للطلاء الجاف للأسطح مثل الجلد والمعادن والأوراق والأقمشة.. وكذلك في بعض أجهزة الفحص مثل الماسح الخطي IR Line Scanner المستخدم لإظهار صور حرارية للأجزاء المراد فحصها وهي في حالة تشغيل. كما تم إنتاج أجهزة قياس حجوم تعتمد على استخدام الأشعة تحت الحمراء يطلق عليها «البالوميتر» Balometers. كذلك.. طور العلماء بعض النوافذ الخاصة المستخدمة في المكاتب والمنازل بحيث تعكس الأشعة تحت الحمراء مما يتيح الحفاظ على درجة حرارة ثابتة. وقد تم إنتاج أفلام حساسة للأشعة تحت الحمراء للتصوير في الظروف التي ينعدم فيها توفير الأشعة المرئية.. أي التصوير في الظلام باستخدام طيف الأشعة تحت الحمراء.

وتعتمد فكرة عمل أجهزة الرؤية الليلية على التالي:

- تجميع الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من الأجسام بواسطة منظومة عدسات شبيهة بعدسات كاميرات الفيديو.
- إسقاط الأشعة الحمراء على مصفوفة من المجسات الحساسة للأشعة تحت الحمراء تعمل على رسم خريطة حرارية للجسم تسمى Thermogram.
- تحويل الصورة الحرارية إلى نبضات الكترونية بواسطة أجهزة الكترونية.
- ترجمة الصورة الحرارية المأخوذة من المجسات إلى معلومات لتعرض على الشاشة بواسطة وحدة معالجة الإشارة Signal Processing Unit.
- إرسال المعلومات إلى الشاشة – بواسطة وحدة معالجة الإشارة– على شكل مناطق ملونة تعكس درجات الحرارة ومن ثم.. تتكون الصورة.

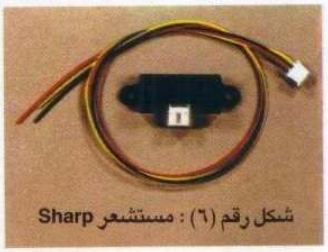
وتجدر الإشارة.. إلى أن هناك العديد من التطبيقات لأجهزة الروية الليلية وخاصة في المجالات العسكرية حيث تستخدم بكثرة في عمليات الاستكشاف

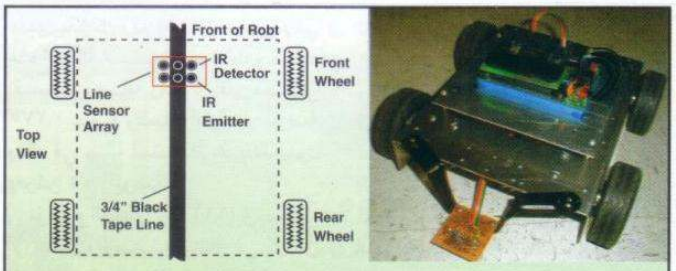


شكل رقم (٩) : مدى الإستشعار

جدول رقم (٣): مستشعرات Sharp GP2Dxx

Detector	Output Type	Range	Enable Method	On Current	Off Current
GP2D02	Serial	10 - 80 cm	Each Reading Triggered by an External Clock	~25 mA	~2 µA
GP2D05	Digital	10 - 80 cm Adjustable Threshold with Small Integrated Potentiometer	Each Reading Triggered by an External Clock Continuous Readings ~38ms per Reading	~25 mA	~2 µA
GP2D12	Analog	10 - 80 Cm	Continuous Readings ~38ms per Reading	~25 mA	*
GP2D15	Digital	Factory Preset to 24 cm		~25 mA	*


شكل رقم (٦) : مستشعر Sharp



شكل رقم (١١) : تثبيت المستشعرات

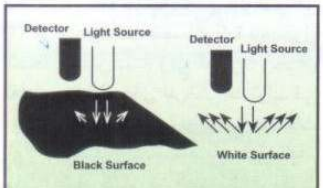
العسكرية - شكل رقم (٤)- وفي التجسس على تحركات الخصم ومعداته في أثناء الليل.. وفي الأبحاث الجنائية لدراسة تحركات اللصوص من الآثار الحرارية التي تركتها أقدامهم على الأرض وتحديد فترة الاعتداء ومتابعة المسروقات.. وفي رحلات الصيد الليلية.. والبحث عن الأشياء المفقودة.. ومنظومات الحماية والمراقبة.

ب- الأشعة تحت الحمراء الوسطى Mid Infrared:

وهي المنطقة من الطيف الكهرومغناطيسي في المدى ١,٣-٣ ميكرون. وهذه الموجات.. لا تنبع من مصادر حرارية وبالتالي لا يمكن للإنسان اكتشافها أو الإحساس بها. تستخدم هذه الأشعة في أجهزة التحكم عن بعد (الريموت كنترول).

جـ- الأشعة تحت الحمراء القريبة Near Infrared:

وهي أقرب ما يمكن من الطيف المرئي ويبلغ مداها من ٠,٧-١,٣ ميكرون. تستخدم هذه الأشعة في المشفرات الضوئية المستخدمة كمستشعرات حالة داخلية لتقدير موضع الروبوت واتجاه حركته وسرعته إلخ.. وفي مستشعرات الاقتراب وتحديد المدى كما هو موضح في الجزء التالي.



شكل رقم (١٠) : اقتفاء الأثر

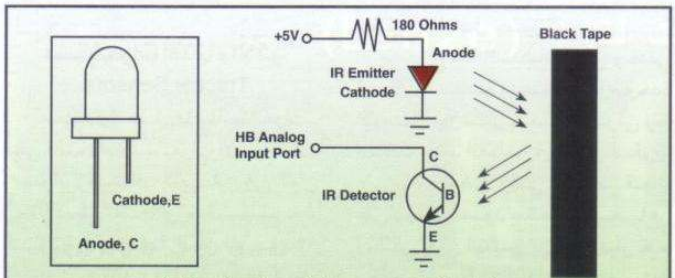
مستشعرات الأشعة تحت الحمراء Infrared Sensors

تستخدم مستشعرات الأشعة تحت الحمراء بكثرة في الروبوتات الشخصية كمستشعرات اقتراب نظرًا لانخفاض تكلفتها وبخاصة إذا كان المدى المطلوب أقل من ٢٤سم.. حيث يمكن لهذه المستشعرات اكتشاف العوائق القريبة بالروبوت.. كما يمكن استخدامها كمستشعرات اقتفاء الأثر لجعل الروبوت يتبع مسارًا محددًا كما هو موضح في الفقرة التالية. يوضح الجدول رقم (٢).. مقارنة بين مستشعرات الأشعة تحت الحمراء ومستشعرات «السونار» حيث يلاحظ أن كلا النوعين له من العيوب والمميزات ما يجعل معظم مصممي الروبوتات يقررون استخدام كليهما كما هو الحال في الروبوت "Magellan Pro" و"B21r" - شكل رقم (٥).

وتعتبر مستشعرات "Sharp GP2DXX" شكل رقم (٦) من أكثر أنواع مستشعرات الأشعة تحت الحمراء استخدامًا في مجال الروبوتية.. لما تتمتع به من انخفاض في التكلفة بالإضافة إلى الاعتمادية العالية للمستشعر. ويتكون هذا المستشعر من وحدة Charge Coupled Device (CCD) ودايود يشع موجات تحت حمراء ودائرة معالجة إشارات. وتعتمد فكرة العمل.. على استخدام الدايود الضوئي كوحدة إرسال موجات تحت حمراء تنعكس عند اصطدامها بأي عائق في مدى الاستشعار لتستقبلها وحدة CCD.. وهي عبارة عن شريحة سيليكون تتكون من مصفوفة من الخلايا الحساسة للضوء Photosites. وتقوم دائرة المعالجة بحساب المسافة واكتشاف وجود عوائق من عدمه حيث يشكل مسار الشعاع الضوئي مثلثًا ما بين نقاط الإرسال والانعكاس والاستقبال كما هو مبين بالشكل رقم (٧).

وعادة ما تكون زاوية الاستشعار صغيرة - في حدود ١,٥ درجة - وهو ما يسبب صغر مدى الاستشعار لهذا النوع من المستشعرات. لذا.. عادة ما يتم استخدام مستشعرات الأشعة تحت الحمراء في اكتشاف العوائق القريبة جدًا من الروبوت. يوضح الشكل رقم (٨) علاقة الجهد المتولد مع بعد العائق.. حيث يلاحظ أنه بزيادة بعد العائق يقل الجهد.. وعند مسافة تصل إلى حوالي ٦ سم تنعدم قدرة المستشعر على اكتشاف العائق.

ويلاحظ أيضًا.. الاختلاف الطفيف في الجهد المتولد مع اختلاف لون العائق. وهو ما يسبب حساسية هذه المستشعرات للألوان مما يتطلب إجراء معايرة من آن إلى آخر. وتوجد أنواع كثيرة من مستشعرات Sharp بدرجات متفاوتة من الاستشعارية واستهلاك القدرة ونوعية إشارة الخرج كما هو مبين بالجدول رقم (٣). ويوضح الشكل رقم (٩) مقارنة بين هذه الأنواع وأنواع أخرى من حيث مدى الاستشعار.



شكل رقم (١٢) : وحدتا الإرسال والاستقبال

جدول رقم (٤): المكونات المطلوبة لدائرة مستشعر اقتفاء الأثر

Part No.	Part	Qty
QSD123QT-ND	IR Photo Transistor	3
276-143	High-output IR Emitter	3
N/A	220 Ohm Resitor	3
910-1268	Small Printed Circuit Board (PCB)	1
	Small Length Of 1/4 Inch Diameter Heat Shrink Tubing	3

مستشعرات اقتفاء الأثر
Tracker Sensors

تعتمد فكرة عمل هذه المستشعرات.. على استخدام مستشعرات الأشعة تحت الحمراء لاكتشاف التباين في اللون بين الأسطح المتجاورة. فبرسم خط أسود في أرضية المكان الموجود به الروبوت. وبتثبيت هذا المستشعر أسفل الروبوت بمواجهة الأرضية.. يمكن للمستشعر اكتشاف الفرق في اللون.. وبالتالي يمكن للروبوت اتباع هذا الخط كدليل حركة.

يحتوي هذا المستشعر على وحدتي إرسال واستقبال.. حيث تقوم وحدة الإرسال بإرسال شعاع ضوئي يتم استقباله بعد انعكاسه في حالة السقوط على سطح أبيض. وفي حالة السقوط على سطح أسود يمتص الشعاع.. وبالتالي يمكن التمييز بين وجود أو عدم وجود الشريط الأسود كما هو مبين بالشكل رقم (١٠).

ولضمان دقة المستشعر ولزيادة مداه.. عادة ما يتم استخدام عدة وحدات كما هو مبين بالشكل رقم (١١).. حيث يتم في هذه الحالة استخدام ثلاث وحدات تفصلهم مسافة رأسية تقدر بحوالي ٠,٣٧٥ بوصة ومسافة أفقية ٠,٥ بوصة وذلك في حالة استخدام شريط أسود بعرض ٠,٧٥ بوصة.

يوضح الشكل رقم (١٢) وحدتي الإرسال والاستقبال في كل من المستشعرات الثلاثة. ويوضح الجدول رقم (٤) المكونات المطلوبة لدائرة مستشعر اقتفاء الأثر.

يتم معايرة المستشعرات الثلاثة لتحديد السماحية Tolerance ما بين السطح الأسود والأبيض لكل مستشعر.. وبعد ذلك يستخدم الروبوت هذه القيم الثلاث لتحديد وجود الشريط الأسود من عدمه. وفي حالة عدم اكتشاف وجود الشريط.. يقوم الروبوت بعمل مسح في المنطقة المحيطة في صورة حركة دائرية انتقالية حتى يتم اكتشاف وجود الخط الأسود.. وعندئذ يقوم الروبوت باتباعه بتصحيح موضعه بصورة مستمرة حسب موضع الشريط بالنسبة للمستشعر المثبت أسفل الروبوت.

تزايد أعداد الروبوتات المستخدمة في العالم

أظهر أحدث تقرير للجنة الاقتصادية التابعة للأمم المتحدة الخاصة بأوروبا "UNECE" بالتعاون مع الاتحاد العالمي للروبوتية "International Federation of Robotics" (IFR) زيادة كبيرة في أعداد الروبوتات المستخدمة في العالم بلغت ٢٦٪ في النصف الأول من عام ٢٠٠٣ بالمقارنة بنفس الفترة من عام ٢٠٠٢.. ويتوقع زيادة سنوية في حدود ٧,٤٪ حتى عام ٢٠٠٦. وفي العام الماضي.. بلغ عدد الروبوتات في العالم ٧٧٠ ألف وحدة تملك اليابان منها ٣٥٠ ألف وحدة.. يليها الاتحاد الأوروبي ٢٣٣ ألفًا ثم أمريكا الشمالية ١٠٤ ألف وحدة. وفي أوروبا.. تمتلك ألمانيا أكبر عدد من الروبوتات بلغ ١٠٥ ألف وحدة تليها إيطاليا ٤٧ ألفًا ثم فرنسا ٢٤ ألفًا تليها أسبانيا ١٨ ألف ثم المملكة المتحدة ١٤ ألف وحدة. وفي العام الحالي ٢٠٠٥.. يتوقع أن يكون عدد الوحدات الإجمالية في العالم ٨٧٥ ألف وحدة تمتلك اليابان منها ٣٣٣ ألفًا والاتحاد الأوروبي ٣٠٣ ألفًا وأمريكا الشمالية ١٣٥ ألف وحدة. وأظهرت هذه الدراسة أيضًا.. زيادة أعداد روبوتات الخدمة المباعة. ويمكن تقسيم روبوتات الخدمة إلى قسمين أساسيين.. هما روبوتات الخدمة العامة مثل الروبوتات الطبية وروبوتات الاستكشاف تحت الماء وروبوتات إزالة الألغام إلخ... ويشمل النوع الثاني روبوتات الخدمة للاستخدام الشخصي مثل ربوتات الترفيه والحراسة والخدمة المنزلية. وتتوقع هذه الدراسة أنه خلال الفترة من عام ٢٠٠٣ إلى ٢٠٠٦ سوف يتم بيع أكثر من ٣٠ ألف روبوت خدمة للاستخدام العام و٢,١ مليون روبوت خدمة للاستخدام الشخصي كما هو مبين بالشكلين (١، ٢).

ويجب ملاحظة أن هذه الإحصائيات تشمل فقط الروبوتات المنتجة من قبل شركات تجارية ولكنها لا تشمل أعدادًا كبيرة جدًا من الروبوتات الشخصية التي يقوم بتجميعها الهواة والروبوتات المنتجة في كثير من المعامل البحثية في العالم.

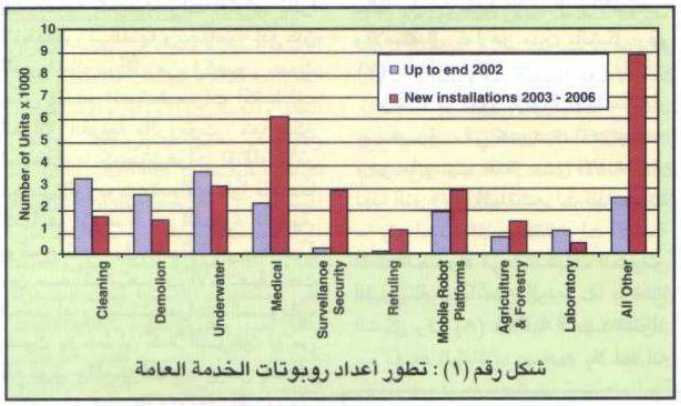
وتشير هذه الإحصائيات.. إلى حدوث طفرة كبيرة في استخدام روبوتات الخدمة وبخاصة الروبوتات الشخصية.

وتتوقع شركة "iRobot" الأمريكية.. وهي من كبرى الشركات المنتجة لروبوتات الخدمة.. وجود روبوت في كل منزل في خلال عشر سنوات من الآن.

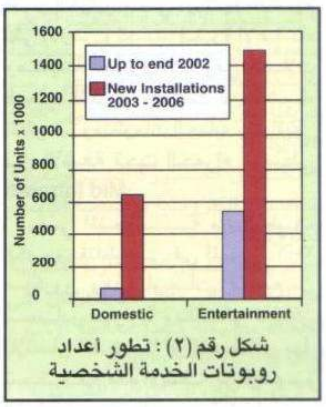
ويراهن خبراء اللجنة الاقتصادية.. على انتشار سريع في استخدام روبوتات الخدمة الشخصية وبصفة خاصة المكانس الكهربية الآلية القادرة على التجول بحرية بين قطع الأثاث وتنظيف الأرضية بصورة معمقة دون أن يشغلها إنسان ويمكنها أيضًا العودة بصورة تلقائية إلى وحدة إعادة الشحن الخاصة بها بمجرد قرب انتهاء الشحن مثل الروبوت Roomba -شكل رقم (٣)- الذي أنتجته شركة "iRobot" وباعت منه أكثر من ٤٧٠ ألف وحدة عام ٢٠٠٣ ونفس العدد تقريبًا في الثلاثة أشهر الأولى فقط من عام ٢٠٠٤ وذلك بسعر ١٥٠ دولار للوحدة.. طبقًا للإحصائيات المنشورة بمجلة "PC World".

وقد شهدت مبيعات روبوتات الترفيه أيضًا ارتفاعًا ملحوظًا طبقًا لهذه الدراسة حيث وصلت إلى ٥٤٥ ألف وحدة عام ٢٠٠٢ ويتوقع أن تصل إلى ١,٥ مليون عام ٢٠٠٦. وتتفاوت أسعار روبوتات الترفيه حسب مهارات الروبوت والأعمال التي يمكن أن يؤديها. فعلى سبيل المثال.. يباع الروبوت "Robosapien" بمبلغ ٩٩دولارًا فقط ولكن قدراته على التفاعل محدودة جدًا.. بينما يصل سعر الكلب "Aibo" الذي أنتجته شركة «سوني» إلى ١٨٠٠ دولار حيث يمكن لهذا الروبوت محاكاة كل تصرفات الكلب الطبيعي ويمكنه فهم ١٠٠ كلمة وقراءة البريد الالكتروني.. بينما يصل سعر الروبوت البشري "QRIO" شكل رقم (٤)- الذي أنتجته «سوني» أيضًا إلى ٦٥ ألف دولار.. ويستطيع هذا الروبوت القيام بالعديد من المهام العملية والمسلية في آن واحد.. فبالإضافة لقدرته على المشي والرقص.. فإنه يستطيع الهرولة والحركة بهذه الطريقة لمسافة قدرها ٤٦ قدمًا في الدقيقة الواحدة.. كما يستطيع القفز ٠,٢ بوصة عن سطح الأرض.. ويستطيع أيضًا ركل كرة تناسب حجمه والذي هو ٢٣ بوصة وقذف مجسم كرة بيسبول لمسافة لا بأس بها. وفي اليابان.. وجد أن تفاعل ونشاط بعض المرضى قد تزايد في أعقاب مشاركة الروبوت في جلسات العلاج بإحدى المستشفيات اليابانية.. حيث يعتقد كثير من العلماء أن الروبوت قد يوفر الحل الأمثل لقضية رعاية المسنين في المستشفيات ودور رعاية العجزة في اليابان ودول أخرى تعاني من ارتفاع معدلات السن بها.

ومما لا شك فيه أنه إذا أمكن إنتاج روبوتات خدمة متعددة الأغراض والإمكانيات وقابلة للمواءمة والتفاعل مع البيئة المحيطة واقتصادية.. فسوف يؤدي ذلك إلى ثورة في الحياة الاجتماعية.. وسوف تشهد سوق الروبوتات الشخصية نموًا كبيرًا بها وإن جاء متأخرًا ببضعة أعوام لثورة الروبوتات الصناعية.



شكل رقم (١) : تطور أعداد روبوتات الخدمة العامة



شكل رقم (٢) : تطور أعداد روبوتات الخدمة الشخصية

شكل رقم (٣) : الروبوت Roomba

شكل رقم (٤) : الروبوت QRIO