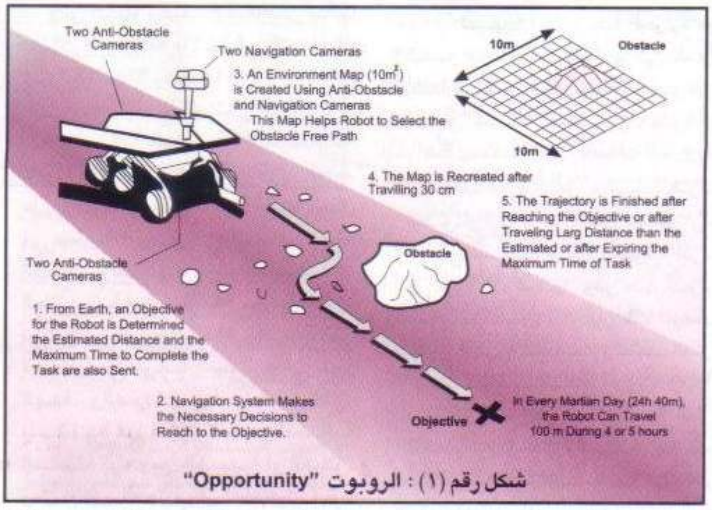
٩ـ كيف تبنى "روبوت" حقيقى؟

مستشعرات الحالة الخارجية «السونار»

د. علاء خميس

كلية هندسة البترول - جامعة قناة السويس

إذا أمعنا النظر في «الروبوتات» المعاصرة نجدها تحقق بشكل أو بآخر قوانين "الروبوتية" (العدد رقم ٦٦) التي وضعها الكاتب الأمريكي الروسي الأصل "اسحاق أسيموف" (١٩٢٠ ـ ١٩٩٢) والتي على الرغم من أنها صيغت في إطار روايات الخيال العلمي.. إلا أنها مازالت إلى يومنا هذا تحكم إنتاج التقنيات "الروبوتية". فعلى سبيل المثال.. تعمل مستشعرات الاقتراب Proximity والتصادم في "الروبوتات" على تحقيق القانون الأول.. حيث يستطيع "الروبوت" بها تجنب تعريض الإنسان للخطر.. كما أن القانونين الثاني والثالث يتحققان في «روبوتات» وكالة الفضاء الأمريكية NASA مثل «الروبوت» Opportunity و«الروبوت» Spirit المتواجدان حاليًا على سطح كوكب المريخ في مهمة تقدر تكلفتها بـ ٨٢٠ مليون دولار وهدفها كشف ما إذا كان كوكب المريخ قد عرف بيئة رطبة لفترة طويلة تسمح بالحياة على سطحه أم لا.. حيث يقوم «الروبوت» بإطاعة وتنفيذ الأوامر (القانون الثاني) المرسلة إليه من معهد (JPL) التابع لوكالة «ناسا» بولاية "كاليفورنيا" على بعد ٢٠٠ مليون كم والتي ترسل بسرعة الضوء وتستغرق إحدى عشرة دقيقة للوصول إلى «الروبوت».. وفي المساء يدخل «الروبوت» حالة السكون Sleep Mode لتوفير الطاقة الكهربية المستمدة من الشمس.. ويحتوي «الروبوت» أيضًا على منظومة رؤية «روبوتية» ـ شكل رقم (١) ـ تساعده على تجنب الاصطدام مما يؤدي إلى أن يحمي «الروبوت» نفسه من الأذى محققًا بذلك القانون الثالث من قوانين «الروبوتية».



شكل رقم (١) : الروبوت "Opportunity"

وفي أي تفاعل معقد مع محيط العمل.. نجد أنه على «الروبوت» معرفة ما يلي حتى يتسنى له إنجاز المهمة المكلف بها:

ـ المسافة الفاصلة بينه وبين العوائق المحيطة به Range Detection لتجنب حدوث اصطدام.

ـ الصفات الضرورية للأغراض التي يتعامل معها «الروبوت» من حيث الحجم والشكل واللون حسب طبيعة التعامل.

ـ ماهية الأغراض المحيطة Object Recognition.. إنسان أو عربة أو مادة إنتاجية.

ـ علاقة تلك الأغراض ببعضها البعض (فوقها أو تحتها أو بجانبها).

ـ التغيرات التي قد تطرأ نظرًا لطبيعة البيئة الديناميكية غير القابلة للمحاكاة.

وتوفر مستشعرات الحالة الخارجية هذه المعلومات لمنظومة التحكم في «الروبوت» مما يساعده على إنجاز المهمة المكلف بها أخذًا في الاعتبار الالتزام بقوانين «الروبوتية».

تقسم مستشعرات «الروبوت» ـ كما ذكرنا في المقالات السابقة ـ إلي ثلاث أنواع حسب المعلومات التي يوفرها المستشعر.. فمستشعرات الحالة الداخلية مثل المشفرات الضوئية تستخدم لتوفير معلومات عن سرعة واتجاه حركة «الروبوت» والمسافة المقطوعة.. بينما تختص المستشعرات السطحية مثل مصفوفات التلامس بتحديد حالة تصادم «الروبوت» مع العوائق المحيطة به.. كما يمكنها توفير معلومات عن صفات الأغراض التي يتعامل معها «الروبوت» من حيث الشكل ونوع النسيج ودرجة الحرارة والوزن والحركة إلخ...

وفي المقالات السابقة.. تم شرح فكرة عمل واستخدام مستشعرات الحالة الداخلية والمستشعرات السطحية. وفي هذا المقال.. نبدأ بعرض النوع الثالث والأخير من مستشعرات «الروبوت» والذي يشمل مستشعرات الحالة الخارجية التي بها يمكن «للروبوت» تقدير المسافة التي تفصله عن العوائق المحيطة به والتي تتيح له تكوين خريطة تخيلية Mapping عن البيئة المحيطة تساعده في عملية التجوال الحر دون حدوث تصادم.. كما يمكن استخدام هذه الخريطة في معرفة موضع «الروبوت» النسبي Localization لتفادي الأخطاء التراكمية في قراءة مستشعر تقدير الموضع Odometry كما سبق الاشارة إليه في العدد رقم (٧٤).

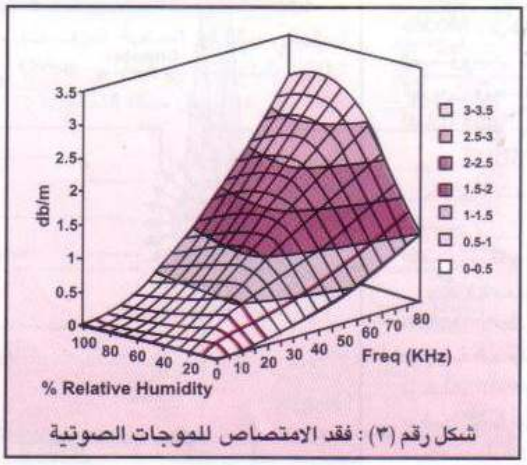
تقسم مستشعرات الحالة الخارجية إلي نوعين أساسيين.. هما:

أ ـ مستشعرات تحديد المدى Ranging .. والتي تحدد المسافة الفاصلة بين «الروبوت» والعوائق..

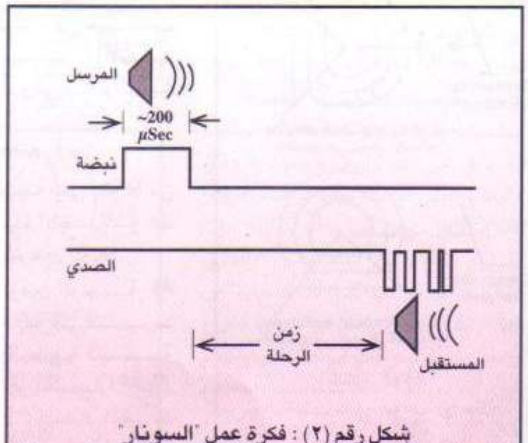
ب ـ منظومات الرؤية «الروبوتية».. التي تساعد علي تحديد ماهية الأغراض المحيطة «بالروبوت» وعلاقة هذه الأغراض ببعضها البعض.

تتناول هذه الدراسة مستشعرات المدي.. وسوف نتناول في دراسات تالية شرح منظومات الرؤية «الروبوتية».

شكل رقم (٤) : "Guide Cane"



شكل رقم (٣) : فقد الامتصاص للموجات الصوتية



شكل رقم (٢) : فكرة عمل "السونار"

مستشعرات تحديد المدى
Ranging Sensors

تعتمد فكرة عمل مستشعرات تحديد المدى على ظاهرتي البث والارتداد.. حيث يقوم المستشعر بإرسال موجة ضوئية أو صوتية 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. تسمى هذه المستشعرات أحيانًا بمستشعرات زمن الرحلة (TOF) Time-of-Flight.. وتقسم إلى ثلاثة أنواع حسب نوع الموجة المستخدمة:

- مستشعرات "السونار" Sound Navigation and Ranging (SONAR).. وفيها تستخدم الموجات الصوتية فوق السمعية Ultrasonic.
- مستشعرات "ليدار" Light Direction and Ranging (LIDAR).. وتعتمد على استخدام الموجات الضوئية.. ومن أشهرها مستشعرات الموجات تحت الحمراء ومستشعرات الليزر.
- مستشعرات "الرادار" Radio Direction and Ranging (LADAR).. وفيها تستخدم موجات بتردد الراديو.

وسوف نتناول بالتفصيل فكرة عمل وطريقة استخدام مستشعر "السونار" باعتباره أكثر أنواع مستشعرات الحالة الخارجية استخدامًا في «الروبوتات».

التعريف "بالسونار"

استوحى الانسان الكثير من الأفكار والنظريات التي أدت إلي كثير من التطبيقات العملية في حياته من خلال دراسته وتأمله في خلق الله عز وجل. فمن خلال دراسة طريقة الرؤية في الخفافيش وكيفية إبحار أسماك الدولفين.. تم اكتشاف "السونار" واستخدامه في كثير من التطبيقات العسكرية والمدنية.

شكل رقم (٥) :السيارة "BMW 745i"

ومن الخطأ وصف الخفافيش بأنها كائنات عمياء لأنه بالأخذ في الاعتبار أن هذه الكائنات لا يحلو لها الخروج إلا في الظلام.. فإنها لا تحتاج إلى أن ترى الأشياء رؤية ضوئية.. لذلك أنعم الله عليها بمنظومة رؤية فائقة التكوين تعتمد على الصوت وليس الضوء كما هو الحال في منظومة الإبصار في الانسان ومعظم الكائنات. ولتحديد موقع الضحية أو العائق.. ترسل الخفافيش موجات فوق سمعية.. وعلى حسب الفترة الزمنية التي تستغرقها الموجة الصوتية في بلوغ الهدف والعودة إلى أذني الخفاش.. يستطيع هذا الكائن تقدير المسافة الفاصلة بينه وبين الضحية أو العائق. ومن الأمور العجيبة.. أن للخفافيش أيضًا القدرة على تمييز طريقة ارتداد الموجات الصوتية حسب ضربات أجنحة الطيور أو الحشرات المصطدمة بها.. ومن ثم يمكن للخفاش معرفة نوع الفريسة. وتستخدم أسماك الدولفين أيضًا «السونار» لتحديد أبعاد الأشياء تحت المياه ومدى عمق المياه وتحديد موقعه وبعده عن الشاطئ ..حيث يكرر إرسال نبضات فوق سمعية بتردد ما بين ٧٥ ـ ١١٠ك هرتز. ويذكر.. أنه تم استغلال هذه الأسماك في كثير من العمليات العسكرية مثل اكتشاف الألغام البحرية وتنفيذ مهام خطرة مثل اغتيال غواصين وضفادع بشرية وحراس مواني وتفجير غواصات باستخدام الدلافين المحملة برؤوس صواريخ تقليدية أو نووية.

وقد كان أول استخدام «للسونار» عام ١٩١٥ على يد علماء البحرية البريطانية خلال الحرب العالمية الأولى (١٩١٤ ـ ١٩١٨) وذلك لتحديد مواقع الغواصات الألمانية المعادية وكان يسمى في ذلك الوقت Anti-Submarine Detection In-vestigation (ASDICS). وبعد الحرب.. أدخلت كثير من التطويرات على "السونار" أو "المسبار البحري".. حيث تم حل مشكلة انعكاس موجات "السونار" عند وجود طبقات مائية حرارية تختلف فيها درجة الحرارة عن البحر المحيط.. مما يؤدي إلى تشوه الإشارة. فتم تطوير جهاز "سونار" الأعماق المختلفة للكشف عن وجود أي غواصات متخفية تحت الطبقات الحرارية.

تعتمد فكرة عمل مستشعرات "السونار" كما هو مبين بالشكل رقم (٢) على استخدام موجات صوتية بتردد أعلى من ٢٠ك هوتز.. وهو حد التردد السمعي للإنسان. لذا.. فإن هذه الموجات تسمى بالفوق السمعية. وتعتمد الفكرة الأساسية لتحديد المدى Ranging باستخدام "السونار" على قياس الفترة المنقضية بين إرسال واستقبال النبضة الصوتية بعد ارتدادها نتيجة الانعكاس على سطح العائق المراد تعيين بعده.. ثم تستخدم العلاقة (d =S / 2t) في تحديد بعد العائق عن المستشعر.. حيث d المسافة و S سرعة الصوت و t زمن الرحلة.

وتختلف سرعة الصوت باختلاف درجة الحرارة والرطوبة والضغط والارتفاع عن سطح البحر. لذا.. تعاني مستشعرات "السونار" من مشكلة تغير سرعة الانتشار بتغير العوامل الجوية مما يؤثر على حساسية المستشعر. فعلى سبيل المثال.. يمكن أن يؤدي تغير الحرارة بمقدار ٣٠ ف إلى حدوث خطأ بمقدار ٣٠سم في حساب مسافة مقدارها ١٠م.

أيضًا.. تواجه الموجات الصوتية مشكلة انخفاض الطاقة نتيجة الامتصاص.. فيما يعرف بمشكلة At-tenuation. فكما هو معروف.. تقل شدة الموجة الصوتية كلما انتشرت الموجة بعيدًا عن المصدر. ويتأثر الفقد بعدة عوامل.. مثل لزوجة الهواء (وسط الانتشار) والنقل الحراري وأطوار الاهتزاز الجزئي Molecular Vibration Modes وتركيب الهواء من حيث نسب النيتروجين والأكسجين وأكاسيد الكربون وبخار الماء وهو ما توضحه المعادلة التالية:

$$I = I_0 e^{-2\alpha r} / 4\pi R^2$$

حيث: I شدة الموجة على بعد R من المصدر.. و Io الشدة الابتدائية عند المصدر. و α معامل توهين الموجة.

ويعرف معامل توهين الموجة At-tentuation على أنه دالة في التردد ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية بوحدات nepers/m أو اختصارًا Np/M. يوضح الشكل رقم (٣) اعتماد الفقد عند درجة حرارة ٢٠م على الرطوبة النسبية

شكل رقم (٦) : الروبوت "Scorpio" في البحر الأحمر

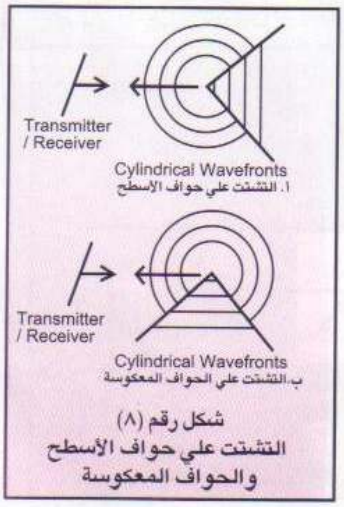
للهواء والتردد.. حيث أنه بزيادة التردد يزداد الفقد عند درجات الرطوبة المتوسطة.

يمكن للموجات الصوتية الانتقال بتردد يتراوح بين ٢٥ ـ ٥٠٠ك هرتز (طول موجة بين ١٤ ـ ١ مم). وفي مستشعرات "السونار" المستخدمة في «الروبوتات».. يمكن الحصول على درجة تميز عالية Fin-er Discrimination باستخدام أطوال موجية قصيرة.. ولكن ذلك يكون على حساب زيادة الفقد. لذا.. يراعى اختيار التردد المناسب حتى لا تفقد الموجة قدرتها نتيجة الامتصاص. وللتغلب على مشكلة توهين الموجة مع مسافة الانتشار.. يقتصر قياس المدى في معظم المستشعرات على قيمة عظمى لا تتعدى ١٠م.

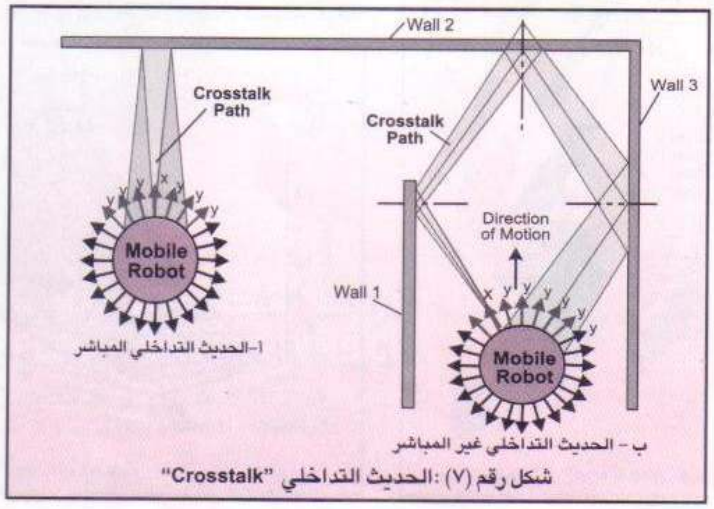
تطبيقات "السونار"

أ ـ التطبيقات العسكرية: ويستخدم "السونار" في اكتشاف الغواصات المعادية وفي تحديد أماكن الألغام البحرية وفي عمليات الاتصال تحت الماء.

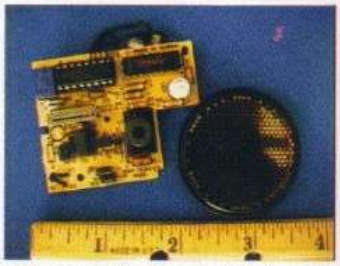
ب ـ التطبيقات السلمية: وتشمل استخدام "السونار" في أجهزة قياس المساحات والحجوم والسماكات.. بالإضافة إلى أجهزة تحديد المدى. يستخدم "السونار" أيضًا بكثرة في مجال الطب في عمليات التشخيص وفي



شكل رقم (٨)
التشتت على حواف الأسطح والحواف المعكوسة



شكل رقم (٧) :الحديث التداخلي "Crosstalk"



شكل رقم (٩) : مستشعر "Polaroid"

وحدات إظهار حالة الجنين. ويذكر.. أن أول استخدام "للسونار" في مجال التشخيص الطبي كان في بداية الأربعينيات على يد الطبيب النمساوي "كارل ثيودو".. ثم توالت جهود التطوير حتى ظهور ما يسمى بالتصوير الحي ثنائي الأبعاد (Real Time Scanner B-mode) في بداية الثمانينيات والذي عن طريقه تم التعرف على حياة الجنين الفعلية وحركاته وتصرفاته ونبضات القلب والتنفس في رحم الأم. وفي عام ١٩٨٤ ظهر في اليابان نظام "سونار" ثلاثي الأبعاد ..و بزغت بعد ذلك فكرة التصوير رباعي الأبعاد حيث تم اعتبار البعد الزمني هو البعد الرابع. وقد فتح جهاز "السونار" رباعي الأبعاد نافذة إلي رحم المرأة لكشف أسرار الجنين ومراقبة كل تصرفاته داخل الرحم.

ويستخدم "السونار" أيضًا في أجهزة مساعدة المعوقين.. حيث تم استخدام وتصميم دليل Guide cane لمساعدة المكفوفين وضعاف النظر ـ شكل رقم (٤). ويتكون هذا الدليل من ثلاثة أجزاء.. وهي رأس الدليل والذراع وقاعدة بعجلتي توجيه ـ بدون محرك ـ مثبت فوقها قرص نصف دائري يحتوي على عشرة مستشعرات "سونار" ترسل نبضات فوق سمعية ثم تستقبلها لتحديد المسافة الفاصلة بينها وبين العائق.. وترسل هذه الإشارة إلى وحدة معالجة رقمية Cyrex 486 في رأس الدليل لتكوين خريطة تخيلية عن المنطقة ليتم بعد ذلك حساب المسار الخالي من العوائق والذي على أساسه يتم التحكم في اتجاه حركة العجلتين بواسطة محرك مؤازر Servo Motor مثبت في القرص.

ومن التطبيقات الحديثة "للسونار".. استخدامه في السيارات الحديثة لمساعدة السائق على اكتشاف وجود عوائق والتغلب على مشكلة نقاط انعدام الرؤية Blind-Spots عند استخدام المرايا.. حيث تقوم منظومة "السونار" بإطلاق صفارت تحذير عند اقتراب السيارة من العائق بشكل يمثل خطورة (سيارة أخرى أو طفل أو حيوانات أو حافة رصيف إلخ...). ومن أمثلة ذلك.. السيارة 745i التي قامت بتصنيعها شركة BMW ـ شكل رقم (٥) ـ على منظومة تسمى Park Distance Control (PDC) تسمح باكتشاف وجود أي عائق غير مرئي على بعد ١,٥م من مقدمة السيارة و ٢م من المؤخرة. تتكون هذه المنظومة من أربعة مستشعرات "سونار" في مؤخرة السيارة واثنتان في المقدمة.. بالإضافة إلى دائرة تحذير الكترونية تقوم بإطلاق صفارات تحذير تزداد شدتها كلما اقتربت السيارة من الاصطدام بالعائق. وقد استخدمت نفس الفكرة في إنتاج سيارة أطلق عليها Self-Parking Car لوضع حد لمتاعب ركن السيارة في الأماكن الضيقة.. حيث تقوم السيارة بإتمام هذه العملية بطريقة ذاتية دون تدخل من السائق مثل السيارة "Prius" التي طرحتها شركة "تويوتا" في نهاية العام الماضي.

ويستخدم "السونار" أيضًا بكثرة في «روبوتات» البحث والإنقاذ البحرية. وكان قد تم الاستعانة «بالروبوت» البحري الفرنسي "Ashille" المزود بمستشعرات "السونار" في عمليات البحث عن حطام الطائرة المصرية التابعة لشركة "فلاش" والتي تحطمت في يناير الماضي بعد دقائق من إقلاعها من مطار شرم الشيخ. وهذا «الروبوت» نوع من المركبات البحرية المتحكم في تشغيلها عن بعد Remote Operated Vehicle (ROV) والذي يمكنه الغوص حتى ٤٠٠م فقط. لذا.. تم الاستعانة "بروبوت" آخر أكثر تطورًا يسمى "Scorpio 2000" ـ شكل رقم (٦) ـ لتحديد مكان الصندوقين الأسودين للطائرة بالاستعانة بمجسات يمكنها التقاط الإشارات الصادرة من الصندوقين.

يكثر استخدام "السونار" في «الروبوتات» الجوالة كمستشعر حالة خارجية لتحديد المسافة الفاصلة بين «الروبوت» والعوائق المحيطة به. وكما هو معروف.. فإن سرعة الصوت في الهواء تعتبر أقل بكثير من سرعة الضوء. لذا.. نجد أن متطلبات ضبط التوقيت Timing في المنظومات المعتمدة على الصوت أقل بكثير من نظيراتها التي تستخدم الضوء أو موجات الراديو مما ينتج عنه انخفاض في تكلفتها. فعلى سبيل المثال.. نجد أن المستشعرات الضوئية تتطلب دوائر توقيت في حدود أجزاء من النانو ثانية لقياس مسافات بدقة قدم واحد.. أو بمعنى آخر إذا كانت الدقة المطلوبة واحد مم فإن دقة التوقيت تكون ٣ بيكوثانية (٣×١٠^{-١٢}) مما يرفع تكلفة الدائرة اللازمة للحصول على هذه الدقة. تتميز مستشعرات "السونار" أيضًا بانخفاض استهلاكها للقدرة الكهربية. ويتراوح مداها ما بين ٤٠سم إلى ١٠م.

ـ عيوب مستشعرات "السونار":

ـ تغير سرعة الانتشار مع تغير العوامل الجوية كما سبق شرحه.. مما ينتج عنه أخطاء في قيمة قراءة المستشعر.

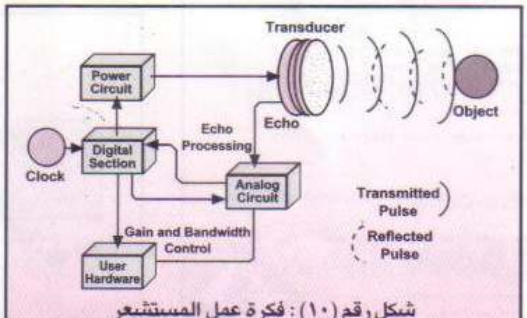
ـ اللاتعنية Uncertainity في تحديد زمن الرحلة للموجة الصوتية.. حيث تحدث أخطاء تسمى Time-Walk Cross بسبب اختلاف الانعكاسات على الأسطح مما يؤدي إلى تأثر زمن الرحلة وبالتالي خطأ في حساب البعد.

ـ تفاعل الموجة الساقطة مع السطح.. فعند اصطدام الصوت بغرض معين.. نجد أن أي صدى يتم تحديده ما هو إلا جزء صغير من الموجة الأصلية حيث تتشتت الطاقة المتبقية في اتجاهات مختلفة ويمكن أن تمتص أو أن تمر خلال السطح حسب خصائص السطح وزاوية السقوط. وفي حالة الانعكاس بزاوية أكبر من أو تساوي الزاوية الحرجة.. نجد أن الطاقة المنعكسة تنحرف خارج نطاق استشعار وحدة الاستقبال للمستشعر مما يؤدي إلي احتمال استقبالها بواسطة وحدة استقبال مستشعر آخر وبالتالي حدوث خطأ في تعيين زمن الرحلة الحقيقي وبالتالي المسافة. تعرف هذه الظاهرة باسم الحديث التداخلي Cross-talk.. وهي تعبر عن حالة التداخل بين المستشعرات كما يحدث عند تداخل القنوات الهاتفية. يوضح الشكل رقم (٧) هذه الظاهرة في «روبوت» جوال يحتوي على أكثر من مستشعر "سونار".. حيث يمثل الشكل رقم (٧ ـ أ) حالة الحديث التداخلي المباشر.. و (٧ ـ ب) حالة الحديث التداخلي غير المباشر عند حدوث انعكاسات متعددة على أسطح البيئة الموجود بها «الروبوت». وهناك طرق مختلفة للتغلب على هذه الظاهرة.. تعتمد فكرة عمل أغلبها على إحداث فرق زمني بين عمل المستشعرات لضمان استقبال وحدة الاستقبال للإشارة المرتدة الصادرة عن نفس المستشعر. فمثلاً.. في حالة احتواء «الروبوت» على ١٢ مستشعر "سونار".. يمكن ضبط فارق زمني بين العمل الدوري لهذه المستشعرات بحيث لا يتعدى الزمن الكلي ١٠٠ مللي ثانية لضمان السرعة في تحديد أماكن العوائق المحيطة بـ«الروبوت».

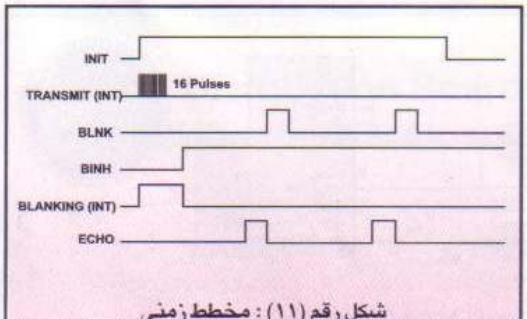
ـ التشتت على حافة الأسطح.. فكما هو موضح بالشكل رقم (٨ ـ أ) تتشتت الموجة الصوتية عند سقوطها على حواف الأسطح في شكل موجات اسطوانية بخط مركز على طول الحافة مما يؤدي إلى فقد سريع لقدرة الموجة حيث يقل مقدار الموجة التي يتم استقبالها 1/Range مرة.. حيث يمثل Range بعد الحافة عن المستشعر. يوضح الشكل رقم (٨ ـ ب) نوعًا آخر من الحواف تسمى الحواف المعكوسة يمكن أن تنقص شدة الموجة بمقدار النصف نتيجة انتقال الموجة من ممانعة صوتية عالية إلى منخفضة.

جدول رقم (١): مستشعرات "Polariod"

Parameter		Original	SN28827	6500 Units
Maximum Range	(m)	10.5	10.5	10.5
Minimum Range	(cm)	25	20	20
Number of Pulses		56	16	16
Blanking Time	(ms)	1.6	2.38	2.38
Resolution	%	1	2	1
Gain Steps		16	12	12
Multiple Echo		no	Yes	Yes
Programmable Freq.		no	no	Yes
Power	(V)	4-7-6-8	4-7-6-8	4-7-6-8
	(mA)	200	100	100



شكل رقم (١٠) : فكرة عمل المستشعر



شكل رقم (١١) : مخطط زمني

استخدام مستشعر "Polariod"

تم إنتاج مستشعرات Polariod لاستخدامها في وحدات التعديل البؤري الاتوماتيكي Automatic Focusing في الكاميرات لتحديد بعد الغرض بقياس الزمن المنقضي بين إرسال واستقبال نبضة فوق سمعية كما سبق شرحه. وتستخدم هذه المستشعرات الآن على نطاق واسع في «الروبوتات» لسهولة استخدامها وانخفاض تكلفتها بالإضافة إلى قدرتها على توفير مدى استشعار مناسب لتطبيقات «الروبوتات» الجوالة الداخلية Indoor Mobile Robots والذي يتراوح ما بين ٤١ سم إلى ١٠,٥ م. يوضح الجدول رقم (٢) الأنواع المختلفة لمستشعرات Polariod والتي يمكن استخدامها في "الروبوتات" الجوالة.

ويتكون مستشعر Polaroid من وحدتين رئيسيتين هما وحدة محول الطاقة Ultarsonic Transducer ودائرة الكترونية لتحديد المدي Ranging Module ـ شكل رقم (٩).

ولتحديد بعد العائق عن المستشعر.. تقوم دائرة المستشعر ـ شكل رقم (١٠) ـ بالآتي:

ـ تعطى وحدة التحكم إشارة بدء التشغيل Firing Signal لوحدة المحول حتى تبدأ في إرسال نبضة فوق سمعية.

ـ تتوقف وحدة الاستقبال عن العمل فترة زمنية قصيرة (٢,٣٨ مللي ث) بعد إرسال وحدة الإرسال للإشارة لتجنب استقبال إشارات خاطئة.. ويتم ذلك باستخدام إشارة منع Blanking كما هو موضح بالمخطط الزمني Polariod series 6500 ـ شكل رقم (١١).

ـ يتم تكبير الإشارة التي تستقبلها وحدة الاستقبال (الصدي Echo) لتعويض الفقد في شدة الموجة نتيجة الانتشار.

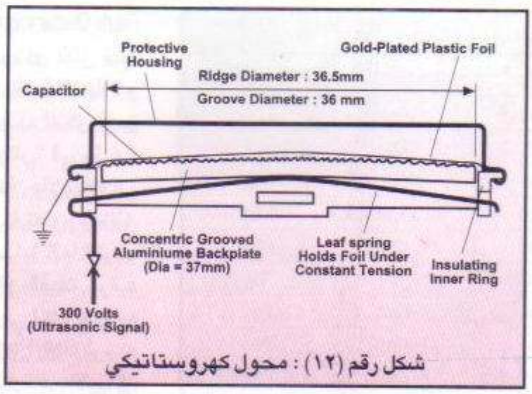
ـ تحسب المسافة d الفاصلة بين المستشعر والغرض المسبب للانعكاس باستخدام العلاقة (d = S / 2t).. حيث S الصوت ، t زمن الرحلة.

وهناك نوعان من وحدات التحويل يكثر استخدامهما في المستشعرات فوق السمعية.. أحدهما كهروستاتيكي والآخر كهروضغطي Piezoelectric. ويتميز النوع الأول بدرجة حساسية عالية بالإضافة إلى اتساع عرض النطاق Bandwidth الذي يعمل عليه المستشعر. وفي مستشعرات Polariod.. يستخدم المحول الكهروستاتيكي وهو عبارة عن غشاء بلاستيكي مطلى بالذهب مثبت على لوح من الألومنيوم ـ شكل رقم (١٢) ـ حيث يشكل الغشاء مع لوح الألومنيوم مكثفًا متغير السعة حسب درجة اهتزاز الغشاء والتي تتغير بتغير الجهد المسلط (نبضات صفر ـ ٣٠٠ف). فعند تسليط جهد ٣٠٠ف.. تتسبب الشحنة المتكونة على المكثف في ظهور قوة تجاذب كهروستاتيكي بين الغشاء واللوح مما يؤدي إلى توليد نبضة صوتية فوق سمعية. يعمل المحول أيضًا كوحدة استقبال عند تسليط جهد مستمر Bias Voltage بقيمة ١٥٠ف لتخزين شحنات مضادة على الغشاء واللوح. ويؤدي الصوت القادم إلى اهتزاز اللوح وبالتالي تغير السعة.. وتؤدي الشحنة المتكونة على اللوح إلى وجود جهد معتمد على الموجة الصوتية القادمة. وبحساب الفرق الزمني بين إرسال النبضة الصوتية واستقبال الصدى يمكن معرفة زمن الرحلة ومنه بعد العائق.

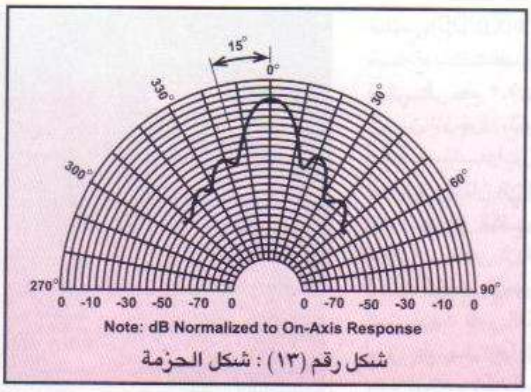
وتعتبر خاصية عرض الحزمة الفعال Effective Beamwidth التي تحدد نطاق استشعار الوحدة والقيود المتعلقة بالشكل الهندسي للحزمة المشعة الذي يمكن اكتشاف العوائق بداخله.. من الخواص المميزة لوحدات المحول.. ويعتمد هذا النطاق على قطر المحول والتردد المستخدم. وبزيادة تردد الطاقة المشعة من المحول.. يزداد ضيق القدرة التوجيهية للحزمة وبالتالي الدقة الزاوية للمستشعر.. ولكن ـ وكما ذكرنا سالفًا ـ يكون ذلك على حساب زيادة توهين الموجة عند انتشارها في الهواء.. وبالتالي يقل مدى الاستشعار. وتتناسب زاوية الحزمة Beam-Dispersion Angle مع الطول الموجي.. وهو ما توضحه المعادلة (Θ=1.22λ/d) حيث d قطر المحول. من هذه المعادلة.. يمكن تخيل شكل الحزمة الصوتية عند انتشارها. ففي حالة اقتراب d من الصفر.. نجد أنه يمكن اعتبار المستشعر من الناحية النظرية مصدر نقطي Point Source للموجات الصوتية يقوم بإشعاع الطاقة في كل الاتجاهات. وعند زيادة d يتحول المستشعر إلى مصفوفة مستوية Planar Array من المصادر النقطية مجمعه.. في شكل دائري. في هذه الحالة.. تكون الطاقة المشعة متحدة الطور وتكون الشدة أعلى ما يمكن فقط عند السطح العمودي. ويؤدي وجود تداخل هدام Destructive Interference وآخر بناء Constructive Interference بين المصادر النقطية المجاورة إلى ظهور فصوص جانبية في الشكل الهندسي للحزمة شبيهة بشحمة الأذن Side Lobes.. وهو ما يوضحه الشكل رقم (١٣) في حالة المستشعر "Polariod 6500".

أشرنا في العدد رقم (٧٦) إلى مكونات المعالج الدقيق Motorola MC68HC11. ولتوصيل مستشعر "سونار" Polariod 6500.. يتم استخدام وحدتي مسجل إشارة دخل / P Capture Registers I. ولتسجيل زمن الرحلة المنقضي ما بين إرسال واستقبال النبضة الصوتية.. وبالتالي حساب المسافة.. يتم استخدام وحدتي المؤقت PA1 و PA2. وللتحكم في وحدة «السونار».. يمكن استخدام إشارتي الخرج PD2 و PD3 كما هو موضح بالشكل رقم (١٤).. حيث يتم التحكم في بدء دائرة "السونار" باستخدام بوابة منطقية AND مثل 74HC08.

عند توافق إشارتي PD2 و PD3.. تتحول إشارة INIT و PA2 إلى High.. وبالتالي يبدأ عمل نبضة "السونار". وبناءً على اكتشاف إشارة الصدى.. تتحول قيمة PA1 إلى High مما يؤدى إلي إشعاع الدايود الضوئي كإشارة إلى اكتشاف إشارة صدى أو عائق. تعمل المقاومة 2.2K على التحكم في قيمة التيار المار في الدايود الضوئي. في الشكل رقم (١٠).. يتم توصيل إشارتي Blanking (Blnk) و-BinBlank inhibit الأرضي. ولحساب زمن الرحلة ومنه بعد العائق.. يمكن استخدام برنامج C المبين في الشكل رقم (١٥).



شكل رقم (١٢) : محول كهروستاتيكي

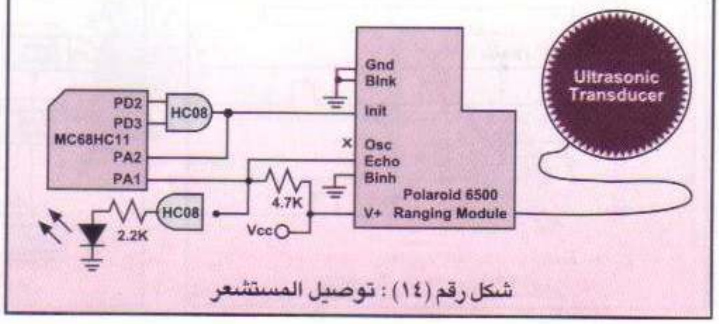


شكل رقم (١٣) : شكل الحزمة

```
/* Enable input capture on rising edge on line PA1 and PA2 */
void init_sonar()
{
    bit_set(tctl2,0b010100); /* Use bit_set and bit_clear rather */
    bit_clear(tctl2,0101000); /* than poke to avoid changing */
                              /* other tctl2 bits */
}

/* Initiate a sonar ping */
void ping()
{
    poke(tflg1,0b10); /* Writing a 1 bit clears echo received flag */
    bit_set(portd,0b001100); /* Turn on PD2 and PD3 => Start ping  */
    sleep(0.030);     /* Wait 30 milliseconds for an echo */
    bit_clear(portd,0b001100); /* Clear echo line */
}

/* Determine if an echo was received, if so compute the range */
float range()
{
    if(peek(tflg1)&(0b10)==0)
        return -1.0;        /* IC2 didn't capture echo */
    else
        return  /* Echo detected, compute time and convert to meter */
                /* Speed of sound=343.371 m/s at 20 C */
        ((float)((peekword(tic2)-peekword(tic1))>>1)*(1/1000000)*343.371/2);
}
```
شكل رقم (١٥) : حساب بعد العائق



شكل رقم (١٤) : توصيل المستشعر