

# تطبيق بنية حساس فوق صوتي ضمن نظام قابل للبرمجة ونمذجته من أجل تطبيقات الروبوت

د.م. عمار زقزوق

مدرس في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة البعث

## ملخص البحث

يهدف هذا البحث إلى تقديم نظام متكامل لتصميم ونمذجة ومحاكاة وتطبيق بنية حساس فوق صوتي (Ultrasonic Sensor: US) داخل نظام قابل للبرمجة ضمن شريحة (Programmable System On Chip: PSOC). وقد تم اعتماد نظام الروبوت (Robotic System) بوصفه تطبيقاً مباشراً، نظراً لملاءمة هذا الحساس للبيئة التي يتحرك فيها الروبوت من خلال العديد من الخصائص التي يتميز بها مقارنة مع غيره من الحساسات. إذ يساعد الحساس فوق الصوتي المحمول على الروبوت في استكشاف البيئة واكتساب الخصائص الضرورية للرؤية ومن ثم تزويدها إلى برنامج قياس ومعالجة وتحكم ضمن الحاسوب. كما يتضمن هذا البحث أيضاً عملية محاكاة للحساس فوق الصوتي بهدف معالجة الأخطاء المؤثرة في القيم المقاسة.

تتجلى أصالة البحث من خلال النتائج الهامة التي تم الحصول عليها، والتي تظهر أن بنية الحساس فوق الصوتي المصممة قابلة للتطبيق في النظم المحمولة. كون هذه البنية تحقق سرعة في الأداء ووثوقية جيدة مع صغر الحجم وقلّة استهلاك الطاقة، بالإضافة إلى قابليتها في التطوير وإعادة البرمجة والتعريف، كي تسمح بإضافة وحدات أخرى دون تعديل جذري فيها. من جهة أخرى، تبين النتائج أن نموذج الحساس فوق الصوتي قادر على معالجة وتصحيح الأخطاء المتعلقة بالقيم المقاسة، إذ تم التأكد من صحة النتائج من خلال اختبارات المحاكاة الناجحة التي أجريت لتصحيح مسار روبوت متحرك ضمن بيئة مركبة.

كلمات مفتاحية: المتحكمات الصغيرة القابلة للبرمجة ضمن شريحة - النمذجة والمحاكاة - الأنظمة الروبوتية - الحساسات فوق الصوتية.

## 1- المقدمة:

تبلورت فكرة هذا البحث من أهمية استخدام الحساسات فوق الصوتية ( Ultrasound Sensors) في العديد من التطبيقات، وخاصة تلك المستخدمة في قياس المسافات وتحديد الأبعاد وتحليل الطبقات، ما ساعد في إيجاد وسائل قياس وتحسس ذات كلفة أكثر اقتصادية وخواص أكثر ملاءمة للتطبيقات الموجودة حالياً [1]. وعلى الرغم من وجود العديد من الحساسات التي يمكن استخدامها في تطبيقات عملية، مثل حساسات الأشعة تحت الحمراء وحساسات الليزر، إلا أنه من الضروري مراعاة مدى ملاءمة الحساس المطلوب للإنسان وتفاعله مع البيئة التي يعمل فيها، ولكن هذا مرتبط أيضاً بطبيعة التطبيق المراد تنفيذه. فعلى سبيل المثال، لا الحصر، نجد أن التقنية الأنسب المستخدمة في تجهيزات التصوير والمسح الطبي هي تقنية دوبلر (Doppler Technique)، المعتمدة على مبدأ ارتداد الصدى "الإيكو" (Echo Reflection) للموجات فوق الصوتية عن الطبقات التي تعترضها أثناء انتشارها [2]. من جهة أخرى، نجد أن الحساسات فوق الصوتية تعد الأكثر ملاءمة للاستخدام في الروبوتات العاملة في المناطق المأهولة [3]، كونها صديقة للإنسان، وذلك مقارنة مع حساسات الأشعة تحت الحمراء التي تتأثر بالظروف البيئية من حرارة وإشعاعات وكذلك طبيعة المواد (المواد الملونة مثلاً)، ومع حساسات الليزر التي تؤثر سلباً على صحة الإنسان فضلاً عن تأثرها بطبيعة المواد (المواد الشفافة مثلاً).

بطبيعة الحال، لكل تطبيق خصوصيته التي يتطلبها من عناصر وتجهيزات، وكذلك لكل حساس مزاياه الخاصة التي تؤهله ليناسب تطبيقاً ما، والعنصر الذي تم استخدامه وتطويره في هذا البحث هو حساس فوق صوتي (Sonar)، ومجال التطبيق الموجه إليه هذا العمل هو أنظمة الروبوت. إذ تساعد الحساسات فوق الصوتية الروبوت (عربة "مركبة" ذكية: Intelligent Vehicle) في مسح واكتشاف البيئة ونمذجتها وبنائها، وتحديد موقعه وتنقله ضمن هذه البيئة [4].

يكمن السبب الرئيس في توجيه بحثنا إلى النظم الروبوتية في إمكان إيجاد نموذج تجريبي (Platform) تطبيقي قابل للتنفيذ على أرض الواقع وبأقل التكاليف. حيث بإمكان الباحثين والدارسين استخدام هذا النموذج التجريبي في إجراء وتنفيذ أبحاثهم ومشاريعهم واختبارها

فعلياً، وكذلك تطبيق العديد من القوانين والعلوم والنظريات من نظم التحكم المبرمج (Programmed Control Systems) ومعالجة الصور والإشارات (Images and Signals Processing) وغيرها. وباختصار يمكن اعتبار هذا النموذج التجريبي حقل تجارب متاح للجميع من أجل التطبيق والتطوير.

## 2- هدف البحث وطريقته:

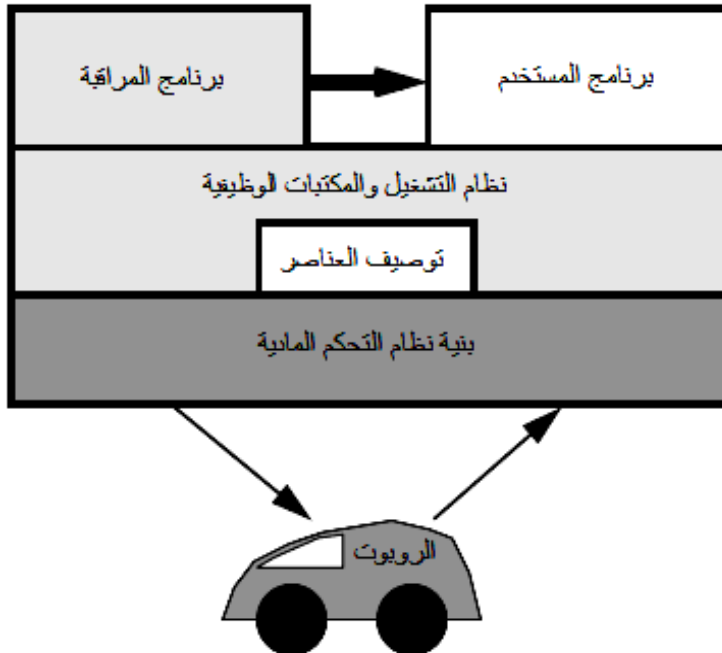
كما نعلم أن التطور المتسارع في العديد من الأنظمة يعود بالدرجة الأولى إلى تطور تقنيات تصنيع الدارات التكاملية فائقة التجميع ( Ultra Large Scale Integration: ULSI) [5]. حيث تسعى العديد من المخابر إلى تجميع أكبر عدد ممكن من الترانزستورات ضمن شريحة واحدة، بحيث تتميز تلك الشريحة بصغر الحجم وقلّة استهلاك الطاقة بالإضافة إلى السرعة والدقة في التنفيذ والأداء. مثلاً على ذلك، التطور الهائل والواسع في تقنيات تصنيع المعالجات من قبل شركة إنتل، وصراعها المحموم مع باقي الشركات من أجل تصنيع منتج متكامل في الأداء ذو وثوقية عالية ويتناسب مع متطلبات المستخدمين [6]. أي أن الغاية والتحدي يكمنان في دمج أكبر عدد ممكن من وحدات النظام، إن لم يكن كلها، ضمن شريحة واحدة تتميز بالموصفات المذكورة أعلاه [7]. لتحقيق الغاية المرجوة، فإننا نسعى إلى تصميم نظام مضمن ( Embedded System) مبني على الأسس والمعايير الآتية [8]:

- بنية مادية مفتوحة (Open Source) قابلة للتعديل والتطوير، من أجل السماح بالإضافة التدريجية لحساسات ووحدات حساب ومعالجة أخرى.
- بنية برمجية تتميز بالمرونة الكبيرة لجهة إعادة برمجة وتعريف وتهيئة.
- استقلال ذاتي من ناحية توفير استهلاك الطاقة والمحافظة عليها لأكثر فترة ممكنة دون تدخل المستخدم، وكذلك اتخاذ القرار المناسب والمتناسق والفعال في الوقت المناسب بسرعة ووثوقية عالية جداً.

لذلك وانطلاقاً من حاجة الروبوت الماسية إلى نظام تحكم مبرمج يتمتع بالدقة وسرعة المعالجة، بالإضافة إلى صغر الحجم وقلّة الوزن واستهلاك الطاقة، فإن هذا البحث يقدم نظاماً متكاملًا لتصميم ونمذجة ومحاكاة وتطبيق بنية حساس فوق صوتي ( Design, Modeling, Simulation, and Implementation of US Architecture)

ضمن شريحة المتحكم الصغري PSOC القابل للبرمجة والتعديل والتطوير [9]، كي يساعد الروبوت في استكشاف البيئة والعناصر المحيطة به [4]. وأيضاً بناء نموذج برمجي (من قبل نظام التحصيل والتحكم المبرمج في الحاسوب) مستنتجاً من دراسة سلوك الحساس وتحليله وتحديد خصائصه، سعياً في الحصول على بارامترات تكنولوجية مثلى، والتي تمكن العاملين في مجال النظم المضمنة من الحصول على قياسات ذات دقة عالية. حيث تساعد هذه المعطيات نظام التحصيل والتحكم المبرمج على اتخاذ القرار الصحيح والسريع في تصحيح مسار (Trajectory Correction) روبوت متحرك (Mobile Robot) ضمن بيئة محددة (Specified Environment)، والمبني على تكامل البنية المادية والبرمجية ( Software and Hardware Architecture Integration) وبتخفيض ملموس في الكلفة الاقتصادية [10].

يبين الشكل (1) تكامل البنية المادية والبرمجية داخل نظام مضمن قابل للتطبيق والتشغيل ضمن عربة ذكية [11].



الشكل (1): تكامل البنية المادية والبرمجية داخل نظام مضمن.

## 3- دراسة تحليلية لخصائص الحساس فوق الصوتي:

لا بد قبل الشروع بمحاكاة وتصميم بنية الحساس وتطبيقها ضمن PSOC، وكذلك بناء ومحاكاة نموذج برمجي يساعد في تصحيح الأخطاء الناجمة عن القياس، من أن نقدم دراسة تحليلية لخصائص الحساس وآلية عمله تمهيداً لتحديد النقاط السلبية [4,12]، من أجل معالجتها أثناء القيام بعملية التصميم والنمذجة والمحاكاة.

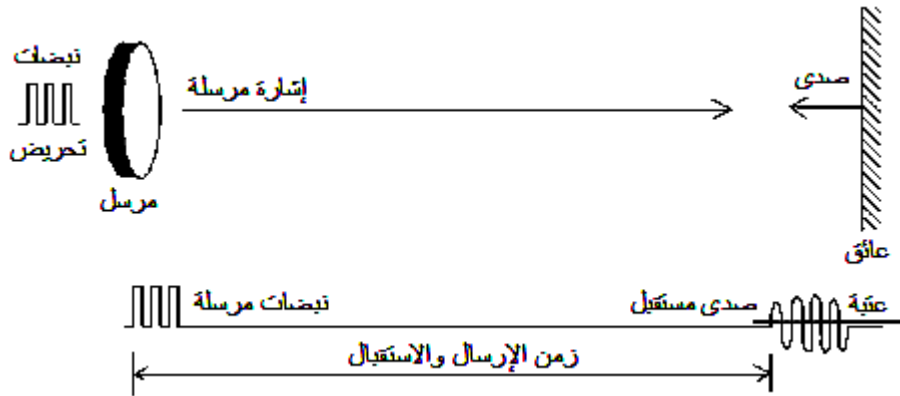
## 1.3- مبدأ عمل الحساس:

يتم استخدام الحساس لقياس المسافة التي تفصله عن عائق ما وذلك عن طريق إرسال قطار من النبضات فوق الصوتية بتردد 40KHz، وبعد استقبال إشارة الصدى المنعكسة عن العائق (نتيجة اعتراضه للنبضات المرسله) يتم قياس زمن الإرسال والاستقبال ( $t$ )، وبعد ذلك يتم حساب المسافة ( $d$ ) وفقاً للعلاقة (1).

$$d = \frac{V.t}{2} \quad (1)$$

إذ تمثل  $V$  سرعة الصوت.

يوضح الشكل (2) آلية قياس المسافة.



الشكل (2): آلية قياس المسافة باستخدام حساس فوق صوتي.

## 2.3- العوامل المؤثرة على القياس:

تتأثر دقة القياس باستخدام الموجات فوق الصوتية بالعوامل الأساسية الآتية: طبيعة السطح العاكس، الانسحاب والانعطاف، الانعكاس المتعدد، زاوية ميل الحساس، الحرارة، منطقة فريسنل وفرونهورف لمحول الطاقة، نوع المرسل والمستقبل، تردد الإرسال، وزاوية

الإرسال [14-12]. ونظراً لكثرة وتعدد هذه العوامل، سنهتم بدراسة وتحليل العوامل التي لها تأثير مباشر على عمل الحساس وترتبط بتوصيف وتحديد بارامتراته.

### 1.2.3- تأثير الحرارة:

تتغير سرعة الصوت بشكل أساس بتغير حرارة الهواء، الذي يؤدي إلى خطأ في القياس، وتعطى سرعة الصوت بدلالة الحرارة وفق المعادلة (2).

$$V = V_0 \cdot \sqrt{1 + T/273} \quad (2)$$

إذ تمثل  $V_0 = 331.3\text{m/s}$  سرعة الصوت عند درجة حرارة  $T=0^\circ$ .

### 2.2.3- تأثير منطقة فريسنل وفرونهوفر لمحول الطاقة:

يقسم النموذج المخروطي لطيف الموجات فوق الصوتية المنتشرة من محول الطاقة (Transducer) المرسل إلى منطقتين موضحتين في الشكل (3).



الشكل (3): النموذج المخروطي للطيف المنتشر.

أ- منطقة فريسنل (Fresnel Region): يكون الحقل الكهرصوتي في هذه المنطقة مضطرباً جداً وغير مستقر، ومن المستحيل اكتشاف أي جسم بشكل صحيح ضمن هذا المجال، ويعطى طول هذه المنطقة بالعلاقة (3).

$$l = \frac{R^2}{4\lambda} \quad (3)$$

إذ يمثل  $R$  قطر الحساس و  $\lambda$  طول الموجة المرسلة.

ب- منطقة فرونهوفر (Fraunhofer Region): تمثل منطقة الاكتشاف والقياس.

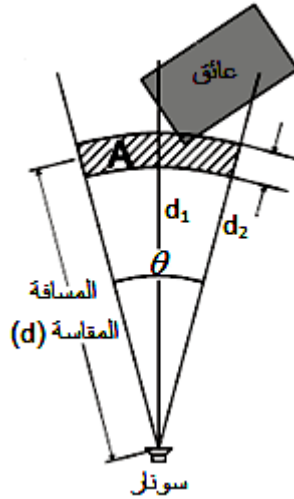
## 3.2.3- تأثير تردد الإرسال:

كلما كان تردد الإرسال ( $f$ ) منخفضاً كانت المسافة المقاسة كبيرة، وكذلك زاوية الإرسال، وبالتالي فإن التردد سيؤثر سلباً على دقة المسافة المقاسة، كما هو معبر عنه في العلاقة (4).

$$\Delta d = \pm \frac{\lambda}{2} = \pm \frac{V}{2f} \quad (4)$$

## 4.2.3- تأثير زاوية الانتشار:

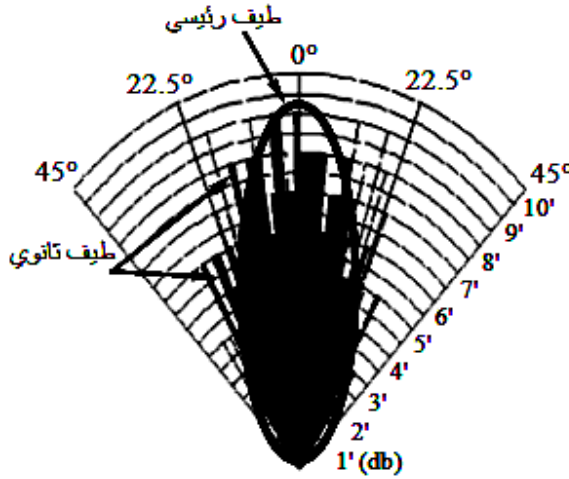
تعد زاوية إرسال (انتشار) الحساس فوق الصوتي كبيرة نسبياً مقارنة بغيرها من الحساسات مثل الليزرية [15]، ولكن بالإمكان الاستفادة من هذه الميزة في اكتشاف الأسطح غير المستوية أو غير المتعامدة مع المحور الرئيس للحساس. يوضح الشكل (4) تأثير وتغير المسافة المقاسة بالنسبة لزاوية الإرسال  $\theta$  (الخطأ الزاوي).



الشكل (4): تأثير الخطأ الزاوي على المسافة المقاسة.

من خصائص انتشار الموجات فوق الصوتية، فإن الطاقة العظمى للموجات المنتشرة تتمركز في المنتصف كما هو موضح في الشكل (5)، ومن هنا نجد أنه من الأفضل تواجد العائق بشكل عمودي مع  $d_1$  "زاوية  $0^\circ$ "، ولكن لا نستطيع أن نضمن ذلك (المسافة  $d_2$ ) كما يبدو في الشكل (4)، ما يؤدي إلى الحصول على صدى ذو طاقة أقل فيما لو

وجد العائق بشكل متعامد مع الحساس. من جهة أخرى، نلاحظ وجود منطقة (A) تشكل غلافاً أمامياً للموجة ما يؤثر بنسبة خطأ في المسافة المقاسة. ولكن لسهولة التعامل مع الموجات فوق الصوتية ولملاءمتها للإنسان والبيئة بشكل عام بالإضافة إلى رخص الثمن، فإن استخدام الحساسات فوق الصوتية في مجال الروبوت يعتبر حلاً جيداً إذا قمنا بمعالجة مشكلة الخطأ الزاوي المؤثر على المسافة المقاسة، مع الأخذ بالاعتبار العوامل الأخرى.



الشكل (5): توزيع الطاقة في الطيف المنتشر.

#### 4- نمذجة خطأ الحساس فوق الصوتي:

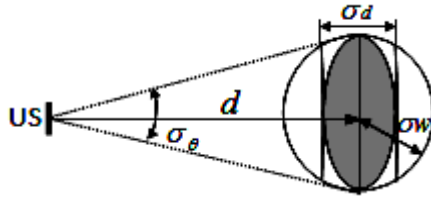
كما ذكرنا سابقاً، يوجد عدة عوامل تؤثر في خصائص الموجات فوق الصوتية، لكننا سنقوم هنا بمعالجة المشكلة الرئيسية والمتمثلة بالخطأ الناتج عن زاوية انتشار الموجات فوق الصوتية (المسمى بالخطأ الزاوي) والذي يؤثر سلباً على المسافة المقاسة. وذلك من خلال بناء نموذجاً يوصف هذه الزاوية سعياً في معالجة وتصحيح الخطأ الناتج عنها من أجل الحصول على دقة أفضل في القياس [13-15]. انطلاقاً من ذلك يصبح بالإمكان استخدام إما حساساً واحداً مثبتاً على زاوية معينة أو حساساً مركباً على محرك دوار أو حتى عدة حساسات، وذلك من أجل تصميم نظام رؤية حاسوبية (Computer Vision) محمول على مركبة متحركة، كما سنرى لاحقاً.



## 1.4- توصيف وبناء نموذج خطأ القياس:

اقترح كرولي [15] نموذجاً لتمثيل الخطأ الناتج عن القياس بواسطة الموجات فوق الصوتية على شكل قطع ناقص كما هو موضح في الشكل (6)، إذ يمثل  $\sigma_d$  الخطأ في المسافة المقاسة  $d$  و  $\sigma_\theta$  الخطأ الزاوي. لكن من أجل سهولة حساب الخطأ في المسافة، فقد قام بتمثيله على شكل دائرة بقطر  $\sigma_w$ ، كما هو معبر عنه في المعادلة (5).

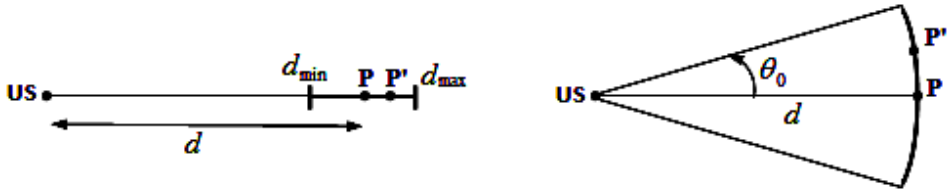
$$\sigma_w = 0.1 + d \tan^{-1}(5^\circ) \quad (\text{meters}) \quad (5)$$



الشكل (6): نموذج خطأ القياس.

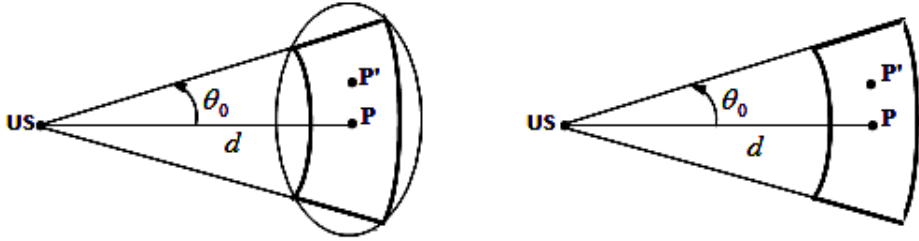
وهنا نلاحظ أن عملية تقريب حساب الخطأ على شكل دائرة تمثل بحد ذاتها خطأ آخرًا وليست دقيقة، وذلك لأن غلاف الموجة المرسله له شكل قطع ناقص. لذلك سنقوم في هذا البحث بتطوير نموذج للخطأ من أجل حساب  $\sigma_d$  بشكل يقترب من القيمة الفعلية، ما يساهم في معالجة الخطأ وبالنتيجة الحصول على مسافة مقاسة مصححة قريبة من المسافة الحقيقية.

كما ذكرنا سابقاً، فإن لكل حساس زاوية إرسال  $\theta$  بمجال زاوي  $\{-\theta_0, +\theta_0\}$  كما هو موضح في الشكل (7-أ) الذي يؤدي إلى خطأ زاوي. وكذلك فإن النقطة الممثلة للقياس تقع في المجال  $\{d_{\min}, d_{\max}\}$  ضمن المسافة المقاسة، ما يسبب خطأً في المسافة المقاسة كما هو مبين في الشكل (7-ب). وتركيب هذين الخطأين يشكل منطقة مخروطية تقريبية للخطأ كما يظهر في الشكل (7-ت). ولكن لتوصيف منطقة الخطأ فإنه يتم تمثيلها بقطع ناقص كما يبدو في الشكل (7-ث)، وقطع الناقص هذا يتمثل بمحورين  $(\sigma_\theta = 2d \sin \frac{\theta}{2}, \sigma_d = \delta d)$ ، وأن القياس المطلوب يقع داخله وأي قياس خارجه يتم رفضه.



(ب): الخطأ في المسافة  $d$ .

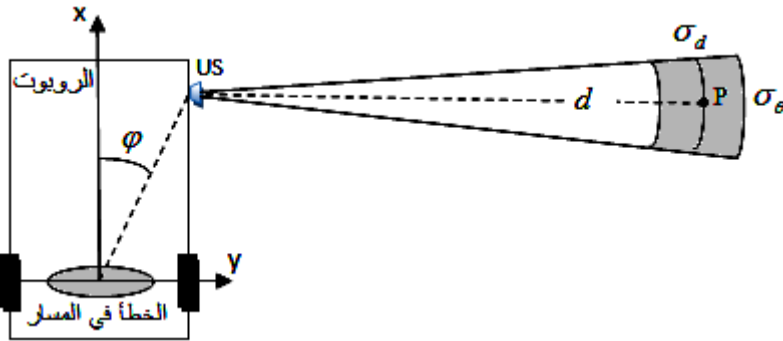
(أ): الخطأ في الزاوية  $\theta_0$ .



(ت): الخطأ المركب في الزاوية والمسافة. (ث): تمثيل الخطأ المركب بقطع ناقص.

الشكل (7): خطأ المسافة والزاوية.

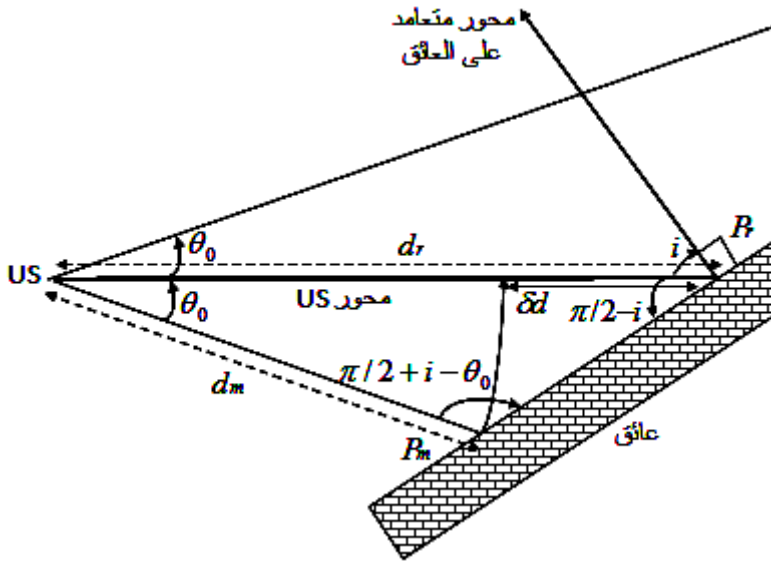
يبين الشكل (8) كيفية تموضع حساس فوق صوتي على الروبوت، وإجراء عملية قياس المسافة للنقطة المكتشفة (P) الواقعة ضمن مجال القياس الممثل بالقطاع  $(\sigma_\theta, \sigma_d)$ ، كما يمثل القطع الناقص داخل مربع الروبوت الخطأ الحاصل في مسار الروبوت.



الشكل (8): خطأ قياس الحساس  $(\sigma_\theta, \sigma_d)$  وخطأ المسار.

#### 2.4- حساب خطأ المسافة المقاسة $(\delta d)$ :

في حالة القياس بالموجات فوق الصوتية، فإن المسافة المطلوبة تمثل القياس للجسم الأقرب بالنسبة للحساس. إذا كانت زاوية ورود الموجات  $(i)$  أكبر بكثير من نصف زاوية إرسال الحساس  $(i \geq \theta_0)$ ، فإن المسافة المقاسة يجب أن تكون ضمن زاوية إرسال الحساس، كما هو موضح في الشكل (9).

الشكل (9): خطأ المسافة المقاسة ( $\delta d$ ).

حيث نلاحظ أن  $\delta d$  تمثل الفرق بين المسافة المقاسة ( $d_m$ ) والمسافة الحقيقية ( $d_r$ ). كما نعلم ضمن مثلث، فإن العلاقة بين كل ضلع وجيب الزوايا المقابلة لهم تكون متساوية، وذلك حسبما هو مبين في العلاقة (6).

$$\frac{d_m}{\sin(\pi/2 - i)} = \frac{d_r}{\sin(\pi/2 + i - \theta_0)} \quad (6)$$

وبناءً عليه، فإن  $\delta d$  يتم حسابها وفق المعادلة (7).

$$\delta d = |d_m - d_r| = d_m \left| 1 - \frac{\sin(\pi/2 + i - \theta_0)}{\sin(\pi/2 - i)} \right| = d_m \left| 1 - \frac{\cos(\theta_0 - i)}{\cos i} \right| \quad (7)$$

في حال كون ( $i < \theta_0$ )، فإن القياس المطلوب يعبر عنه بشعاع موجود ضمن زاوية إرسال الحساس وبشكل متعامد مع العائق، وهذا الشعاع يملك زاوية  $i$  بالنسبة لمحور الحساس. وهنا نجد أن العلاقة السابقة تبقى قابلة للتطبيق، وبفرض أنه لدينا حساساً بزاوية انتشار  $i$  فإننا نستنتج  $\delta d$  وفق ما هو معبر عنه في العلاقة (8).

##### 5- تصميم ونمذجة ومحاكاة بنية حساس فوق صوتي وتطبيقها ضمن PSOC:

مع تطور وتعقيد المشاريع تنشأ غالباً حاجة لإضافة وحدات خارجية (محيطة) مثل: مضخمات عملياتية، مرشحات، مؤقتات، عدادات، مبدلات تشابهية/رقمية، وعناصر كثيرة أخرى.

$$\delta d = \begin{cases} (d_m + \varepsilon) \left| 1 - \frac{\cos(\theta_0 - i)}{\cos i} \right| + \varepsilon & \text{if } \frac{\pi}{2} \geq i \geq \theta_0 \\ (d_m + \varepsilon) \left| 1 - \frac{1}{\cos i} \right| + \varepsilon & \text{if } 0 < i < \theta_0 \end{cases} \quad \forall \theta_0 \in \left[ 0, \frac{\pi}{2} \right] \quad (8)$$

حيث تمثل  $\varepsilon$  ضجيج غوسي بقيمة تقريبية 1% من المسافة المقاسة. لكن إضافة وحدات جديدة يؤدي إلى صعوبات ومشاكل من حيث الكلفة وزيادة استهلاك الطاقة، الناتجين عن تعديل وإعادة تصنيع وإنتاج دارة النظام. كل هذه العوامل لها تأثير هام في السعر وتطوير النظام، لذلك كان لا بد من إيجاد نظام متكامل يجمع معظم العناصر. من هنا جاءت فكرة تطوير وإنتاج متحكمات صغيرة (Microcontrollers) قابلة للتصميم في نظام قابل للبرمجة ضمن شريحة PSOC، والتي جعلت العديد من متطلبات واحتياجات المشاريع في شريحة واحدة [16]. يجمع PSOC معظم الأفكار الجديدة في تطوير المتحكم الصغري، بالإضافة لكل العناصر القياسية لهذا المتحكم. حيث أن شريحة PSOC تمتلك كتلاً قابلة للبرمجة تشابهية ورقمية والتي تسمح بتمثيل وتنفيذ عدد كبير من الوحدات المحيطة [9]. في نظامنا، استخدمنا كتلاً رقمية وتشابهية داخل PSOC من أجل تطبيق بنية الحساس فوق الصوتي، وذلك دون الاستعانة بدارات خارجية إضافية، ما يسمح بالتقليل من حجم النظام والأخطاء والكلفة المادية.

### 1.5- التوصيف المادي للنظام:

تتألف البنية المادية للنظام بشكل أساس من محول طاقة لإرسال الموجات فوق الصوتية وآخر لاستقبال الصدى المنعكس عن الجسم المكتشف بتردد 40KHz، وشريحة PSOC من أجل بناء وبرمجة دارة الحساس والتحكم بها.

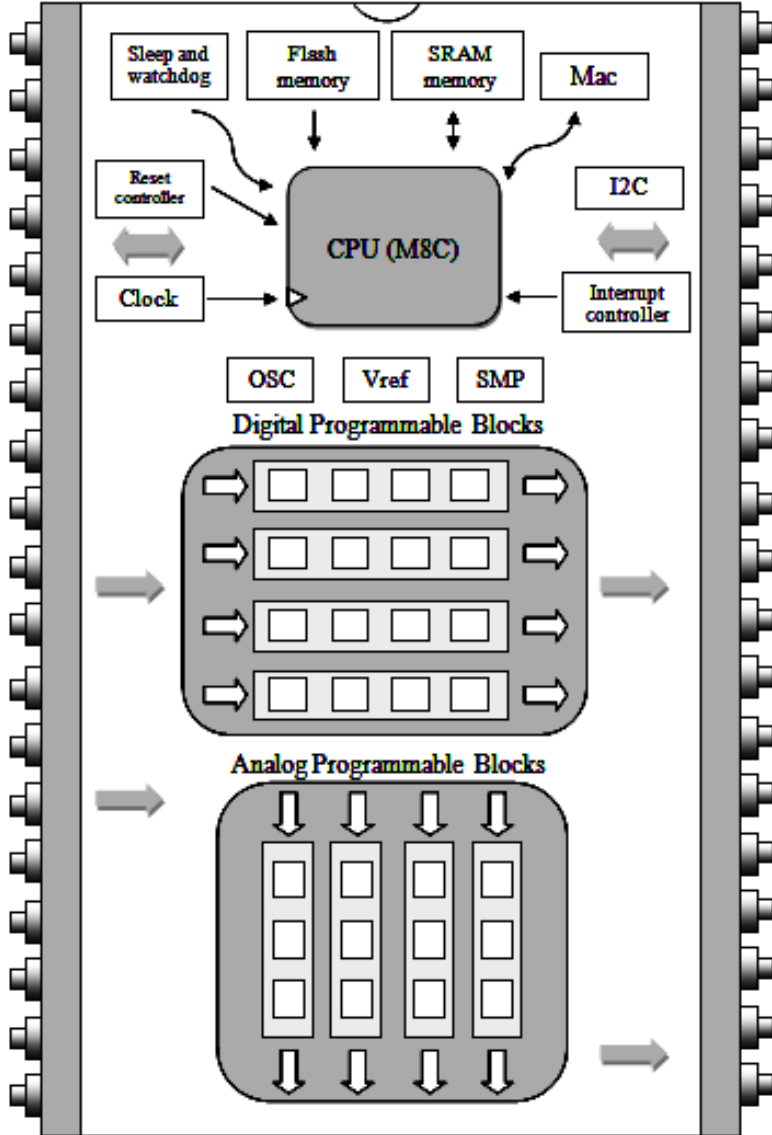
### 2.5- لمحة عامة عن PSOC:

لفهم آلية بناء دارة الحساس داخل المتحكم PSOC والتي تحوي العديد من العناصر الرقمية والتشابهية، فإننا سنقوم بعرض البنية الداخلية للمتحكم بشكل مختصر للتعريف

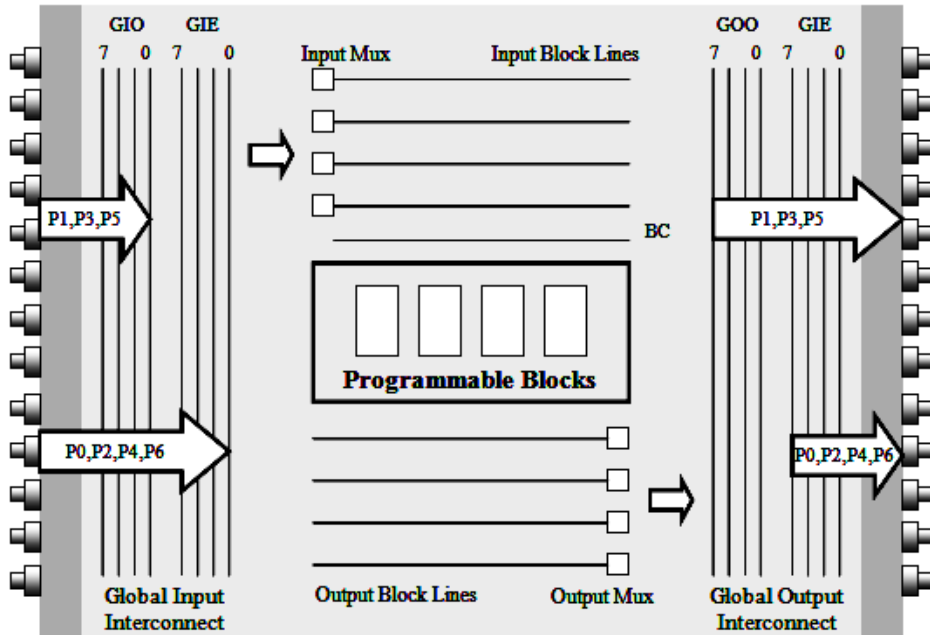
- ولتوضيح كيف تمت عملية التصميم داخلياً بشكل كامل ودون الاستعانة بعناصر الكترونية خارجية. حيث يتكون PSOC، ذو البنية (Complex Instruction Set Computer) (CISC) (Set Computer) ذي 8 بت، من الكتل الأساسية الآتية المبينة في الشكل (10):
- وحدة المعالجة المركزية "CPU" (M8C): الجزء الرئيس في المتحكم الصغري، وهدفها تنفيذ تعليمات البرنامج والتحكم بسير العمل في الكتل الأخرى.
  - كتل رقمية (Digital Programmable Blocks): وحدات صغيرة قابلة للبرمجة مبينة في الشكل (11)، تسمح بخيارات تطوير مختلفة، منها العدادات والمؤقتات ووحدات تعديل عرض النبضة (Pulse Width Modulation: PWM) ذي 8، 16، و32 بت.
  - كتل تشابهيية (Analog Programmable Blocks): تستخدم لتطوير العناصر التشابهيية وهي موضحة في الشكل (12)، مثل المرشحات التشابهيية والمقارنات والمضخمات العاكسة وغير العاكسة والمبدلات التشابهيية/الرقمية، وهي قابلة للبرمجة أيضاً.
  - ذاكرة Flash: لحفظ البرنامج.
  - ذاكرة SRAM: لتخزين المعطيات.
- 3.5- بنية ومبدأ عمل الحساس:**

يوضح الشكل (13) المخطط العام لبنية النظام المصمم ووظيفته وآلية سير الإشارة. يقوم مولد الموجات فوق الصوتية بإرسال نبضات بتردد 40KHZ، تنتشر في المحيط بسرعة الصوت عبر محول الإرسال ( $T_x$ )، ومن ثم تعود هذه النبضات إلى النظام بنفس التردد والسرعة عن طريق محول الاستقبال ( $R_x$ )، وذلك بعد أن تصطدم بعائق متواجد أمام الحساس ضمن مجال تغطية زاوية الإرسال. في الخطوة التالية، يخضع الصدى المستقبل لعملية ترشيح وتضخيم داخل مضخم الاستقبال، لتخرج منه إشارة تشابهيية ذات مطال معين قابل للمقارنة مع جهد العتبة (جهد مرجعي)، وفي حال كان مستوى الإشارة المرتدة أكبر أو يساوي الجهد المرجعي فعندها سيتم توليد إشارة ثنائية كنبضة توقف للمؤقت الزمني الذي تم تشغيله عند بدء الإرسال، وفي حال كان مستوى الإشارة ضعيفاً

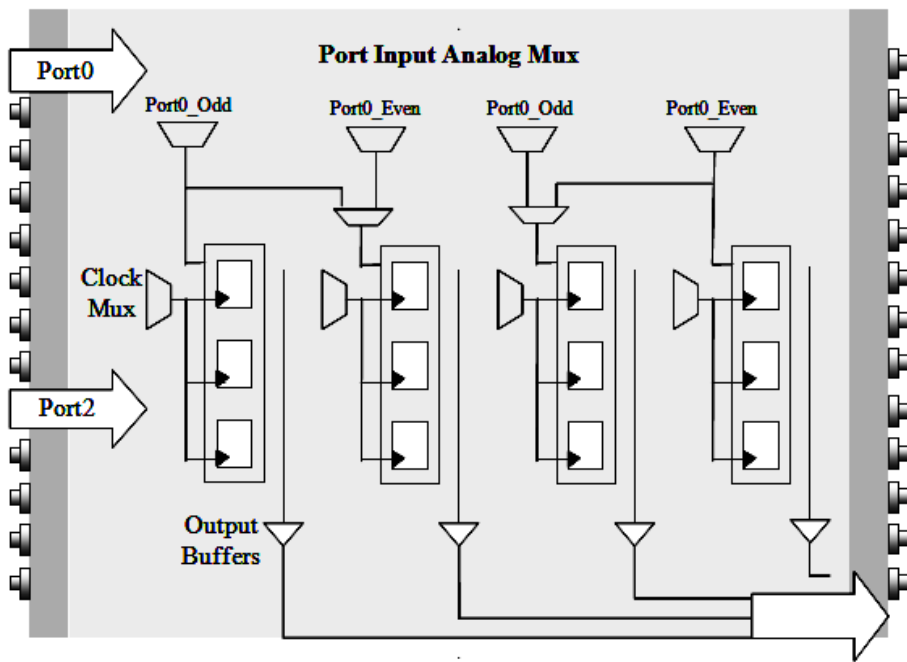
فإنها ستهمل، وستعاد عملية القياس من جديد. يمثل خرج المؤقت الزمني زمن الإرسال والاستقبال ( $t$ ) المكافئ للمسافة  $d$  الفاصلة بين الحساس فوق الصوتي والعائق. كما ويبين الشكل (14) المخطط الزمني لوظيفة وعمل النظام الموضح أعلاه.



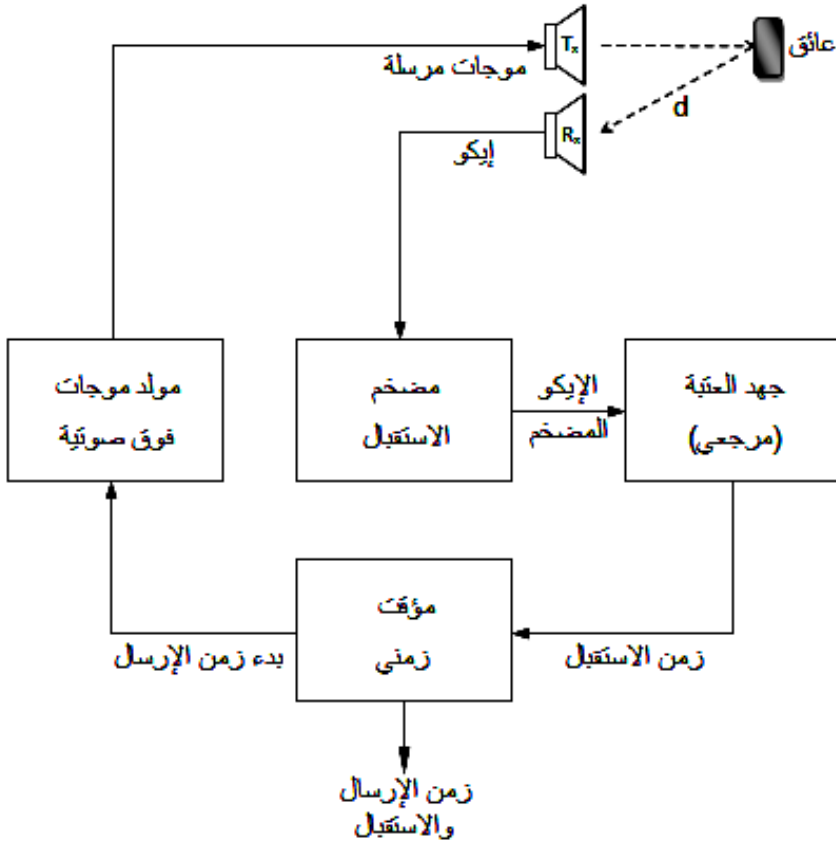
الشكل (10): الكتل الأساسية للمتحكم الصغري PSoC.



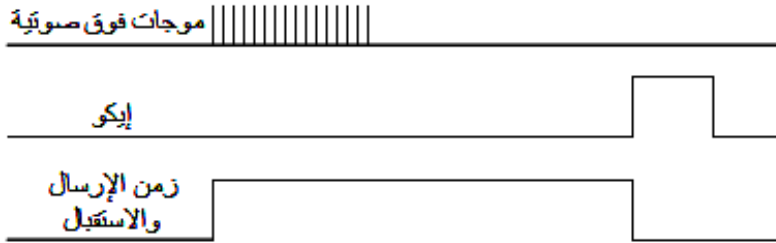
الشكل (11): الكتل الرقمية القابلة للبرمجة.



الشكل (12): الكتل التشابيهية القابلة للبرمجة.



الشكل (13): بنية ومخطط الحساس فوق الصوتي.

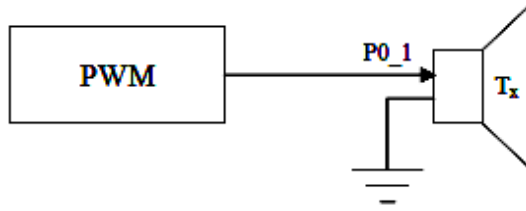


الشكل (14): المخطط الزمني لعمل الحساس فوق الصوتي.

#### 4.5- تصميم ونمذجة الحساس بالاعتماد على PSOC:

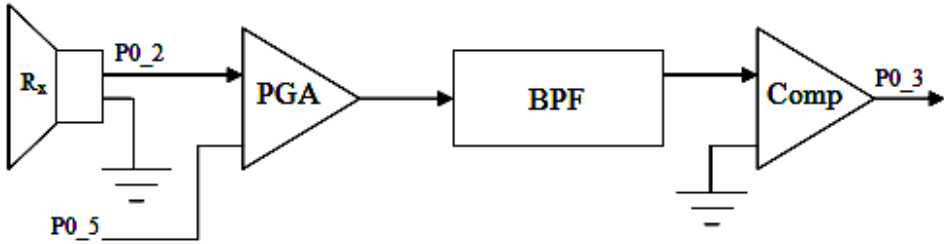
يتألف قسم الإرسال، الموضح في الشكل (15)، من مولد PWM يقوم بتحريض  $T_x$  على إرسال نبضات بتردد 40KHz.





الشكل (15): قسم الإرسال.

أما قسم الاستقبال، المبين في الشكل (16)، فيتكون من  $R_x$  ومضخم (PGA) يقوم بتضخيم الإشارة وإرسالها إلى مرشح (BPF) لتخليصها من التشويش، بعد ذلك تمرر الإشارة إلى مقارن (Comp) لاكتشاف وصول الصدى المرند وذلك عند وجود حاجز.



الشكل (16): قسم الاستقبال.

### 5.5- خوارزمية العمل:

يتم توليد الموجات فوق الصوتية وحساب الزمن الفاصل بين الحساس وجسم ما وفق الخوارزمية التالية:

إن تردد الساعة لـ PSOC هو 24MHz، وبالتالي يكون دور نبضات الساعة:

$$T_{\text{clock}} = 1/(24 \times 10^6) = 0.0416 \times 10^{-6} \text{Sec}$$

بما أن تردد الموجات فوق الصوتية هو 40KHz، فإن دور نبضات (PWM) يكون:

$$T_{\text{sonic}} = 1/(40 \times 10^3) = 25 \times 10^{-6} \text{Sec}$$

تعرض PWM الحساس على إرسال نبضات فوق صوتية بدور يعطى كمايلي، وبنفس اللحظة يبدأ العداد بالعد:

$$T_{\text{us}} = 200/(24 \times 10^6) = 8.3 \times 10^{-6} \text{Sec}$$

بعد إرسال هذه النبضات نوقف الحساس عن الإرسال وننتظر 20 دورة، أي ما يقابل المسافة الزمنية التالية:

$$20/(24 \times 10^6) = 0.83 \times 10^{-6} \text{Sec}$$

## تطبيق بنية حساس فوق صوتي ضمن نظام قابل للبرمجة ونمذجته من أجل تطبيقات الروبوت

يعتبر هذا الزمن كمجال أمان حتى لا يستجيب المستقبل للنبضات المرسله، بل تكون قد غادرت وبقى بانتظار صداها.

عندما يصل الصدى نقرأ قيمة العداد، وبما أنه يعد بشكل تنازلي فإن عدد النبضات يكون (j-16666).

حيث تمثل 16666 القيمة الابتدائية للعداد التنازلي و j القيمة الحالية التي يشير إليها.

الآن نقوم بحساب VC1 و VC2، وهما مقسمي تردد، وفق مايلي:

$$VC1 = (24 \cdot 10^6) / 5 = 4800 \cdot 10^3 \text{Hz}$$

$$VC2 = VC1 / 3 = 1.6 \cdot 10^6 \text{Hz}$$

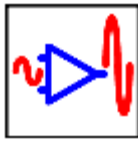
حيث يمثل VC2 تردد الساعة للعداد.

إذاً يكون t معبراً عنه بالقيمة  $(1.6 \cdot 10^6) \cdot (j-16666)$ ، وهو الزمن المقابل للمسافة d الفاصلة بين الحساس والعائق.

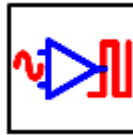
### 6- النتائج ومناقشتها:

#### 1.6- محاكاة وتطبيق النتائج باستخدام برنامج PSOC:

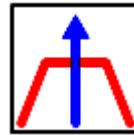
تعاملنا في بحثنا مع شريحة المتحكم الصغري PSOC ذات الرقم CY8C27443B PDIP، حيث تحتوي على 8 كتل رقمية و 12 كتلة تشابيهية وكتلتها قابلة للبرمجة. تمت عمليات البرمجة والنمذجة والمحاكاة بواسطة برنامج PSOC Designer. يوضح الشكل (17) الكتل التشابيهية والرقمية المستخدمة في تصميم النظام.



PGA



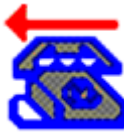
CMPPRG



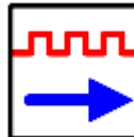
BPF2



Counter16  
(Tps\_propag)



SPIM



PWM8\_Ultra\_Son

الشكل (17): الكتل المستخدمة في تصميم النظام.

BPF2: مرشح مستخدم في قسم الاستقبال لتخليص الإشارة المستقبلية من التشويش الذي قد يطرأ عليها، وهو كتلة تشابهية.

CMPRG: مقارن للتحقق من رجوع الإشارة المرسله، وهو كتلة تشابهية.

PGA: مضخم لتضخيم الإشارة المستقبلية حتى يتمكن من كشفها بعد تعرضها للتشويه أثناء الإرسال والاستقبال، وهو كتلة تشابهية.

PWM8\_Ultra\_Son: مولد نبضات PWM لتحريض الحساس على إرسال موجات بتردد 40KHz، وهو كتلة رقمية.

SPIM: لتحقيق الاتصال بين شريحة PSOC والحساس، وهو كتلة رقمية.

Counter16 (Tps\_propag): عداد ب 16 بت لعد النبضات وذلك لحساب المسافة  $d$  بين الحساس وجسم ما، وهو كتلة رقمية.

يبين الشكل (18) توضع الكتل الرقمية والتشابهية للنظام المصمم داخل شريحة PSOC.

## 2.6- تحديد واستنتاج خصائص وبارامترات الحساس:

اعتماداً على الدراسة التحليلية التي قدمناها سابقاً بخصوص توصيف خصائص الحساس، فإننا سنقوم بتحديد واستنتاج البارامترات التكنولوجية المتعلقة به، وذلك نتيجة للعديد من التجارب والاختبارات التي أجريناها.

### 1.2.6- تغير سرعة الصوت والمسافة بتغير الحرارة:

يبين الجدول (1) تطبيقاً للمعادلة (2) في تحديد تغير سرعة الصوت والمسافة بتغير الحرارة.

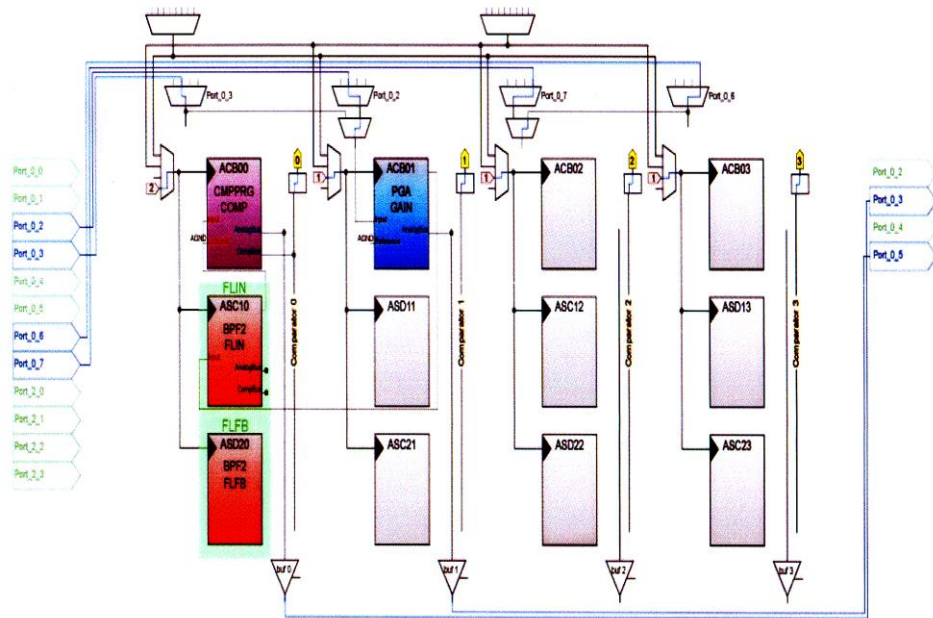
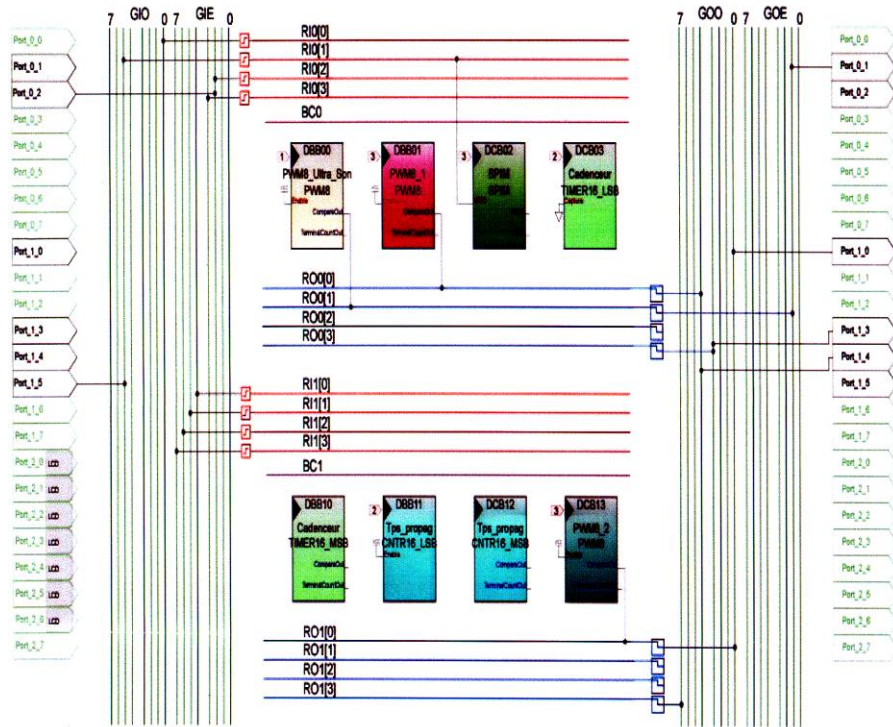
الجدول (1): تغير سرعة الصوت والمسافة بتغير الحرارة.

درجة الحرارة (C°)	0	25	40
سرعة الصوت (m/s)	331.30	346.13	354.74
المسافة (m)	4.97	5.19	5.32

نلاحظ زيادة سرعة الصوت مع ارتفاع الحرارة وبالتالي تغير المسافة المقاسة، حيث تقدر

نسبة الخطأ بمقدار  $\pm 0.85\%$  عند تغير الحرارة بمقدار  $1C^{\circ}$ .

تطبيق بنية حساس فوق صوتي ضمن نظام قابل للبرمجة ونمذجته من أجل تطبيقات الروبوت



الشكل (18): المخطط العام للنظام المصمم.

## 2.2.6- تغير المسافة بتغير تردد الإرسال:

يوضح الجدول (2) تطبيقاً لتغير المسافة المقاسة ( $\Delta d$ ) بتغير تردد الإرسال الممثل بالمعادلة (4)، وذلك من أجل قيماً محددة لدرجة الحرارة وسرعة الصوت.

الجدول (2): تغير المسافة بتغير تردد الإرسال.

80	60	40	20	تردد الإرسال (KHz)	
±2.07	±2.76	±4.14	±8.28	تغير المسافة (mm)	T=0° V=331.3m/s
±2.16	±2.88	±4.32	±8.65		T=25° V=346.13m/s

نلاحظ أنه كلما كان تردد الإرسال منخفضاً كان  $\Delta d$  كبيراً، ولكن بالمقابل مع زيادة التردد فإن طول الموجة المرسله سيزداد، وبالنتيجة زيادة طول منطقة فريسنل حسب المعادلة (3)، ما يؤثر سلباً على المسافة الدنيا المقاسة، وبالتالي فإن التردد سيؤثر سلباً على دقة  $d$ ، لذلك يتم اختيار تردد إرسال 40KHz حلاً وسطياً.

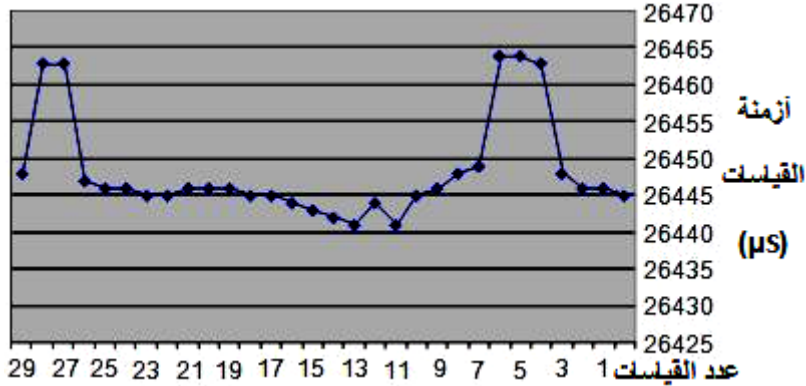
ارتباطاً بمشكلة التردد، فإنه يوجد لدينا مشكلة أخرى متعلقة بتردد الهزاز الكريستالي القادح للمؤقت/العداد الذي يقوم بقياس  $t$  للموجة المرسله/المستقبلة. يتم معالجة هذه المشكلة من خلال ضبط ومعايرة الحساس باستخدام المعادلة (9).

$$d = \frac{V.C_t}{2F_{req}} \quad (9)$$

حيث تمثل  $C_t$  قيمة المؤقت/العداد و  $F_{req}$  تردد المؤقت/العداد.

لدى دراسة وتحليل تأثير تغير تردد دائرة الحساس على قياس المسافة، حيث يتوجب ضبط هذا التردد لكونه البارامتر الرئيس في حساب المسافة، فقد تبين وجود تذبذبات واهتزازات (Fluctuations) بقيمة 24µS، تتناوب حول مجال التردد 41.60KHz المكافئ نسبياً لرنين (Resonance) محول الطاقة، كما هو ملاحظ في الشكل (19)، حيث استنتجنا ذلك بعد إجراء عدة اختبارات وقياسات تم أخذ عينات منها.

لتحليل هذا السلوك اللاخطي لعملية قياس الزمن، فقد نفذنا عدة اختبارات تجريبية من أجل بيان طبيعة الخطأ الناتج في الزمن المقاس من خلال النظام المطور، ويوضح الجدول (3) والشكل (20) عينات من هذه القياسات.



الشكل (19): اهتزازات تردد دائرة الحساس.

$$MAX = 26464,5\mu S \text{ and } MIN = 26440,5\mu S$$

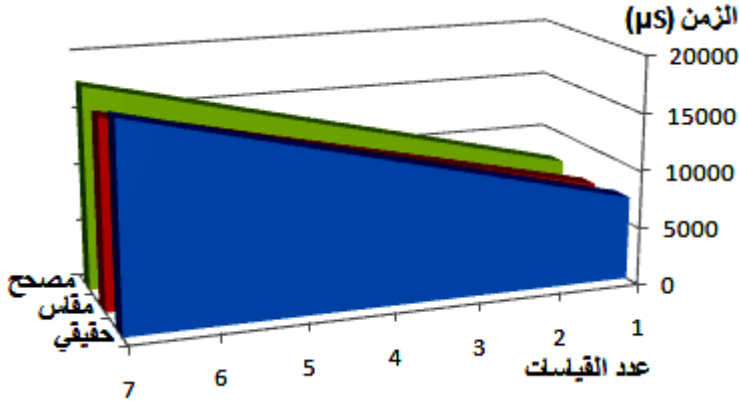
$$\Rightarrow \text{Fluctuation} = MAX - MIN = 24\mu S$$

الجدول (3): تصحيح الفرق بين الزمن الحقيقي والمقاس.

$T_c - T_r$	$T_m - T_r$	الزمن المصحح ( $T_c$ ) $\mu S$	الزمن المقاس ( $T_m$ ) $\mu S$	الزمن الحقيقي ( $T_r$ ) $\mu S$
202	-266	5725	5257	<b>5523</b>
158	-417	7425	6850	<b>7267</b>
132	-551	9143	8460	<b>9011</b>
110	-682	10865	10073	<b>10755</b>
63	-835	12563	11665	<b>12500</b>
22	-984	14266	13260	<b>14244</b>
17	-1098	16005	14890	<b>15988</b>
-38	-1259	17694	16473	<b>17732</b>

نلاحظ من الجدول صغر الفرق بين الزمن المصحح والحقيقي مقارنة بالفرق بين الزمن المقاس والحقيقي، ونجد ذلك واضحاً في الشكل (20) بالتقارب الكبير بين الزمن الحقيقي والمصحح، وخصوصاً أن وحدة قياس الزمن من مرتبة المايكرو ثانية. وقد قمنا بمعالجة وتصحيح هذا الخطأ عن طريق استخدام وتطبيق الدالة LINEST من برنامج Microsoft Excel، حيث تم إرجاع الإحصاءات التي تعبر عن الاتجاه الخطي المطابق لنقاط البيانات المعروفة، وذلك بمطابقة الخط المستقيم باستخدام طريقة المربعات الصغرى.

تعتبر العلاقة (10) عن هذه الطريقة، والتي تم استنتاجها وتطبيقها في الخوارزمية العامة عند برمجة النظام مع عوامل التصحيح الأخرى.



الشكل (20): تصحيح الزمن المقاس.

$$T_c = m.T_m + b \quad (10)$$

معاملات تصحيح:  $m=1.06715$ ,  $b=115.134$ .

### 3.2.6- زاوية الإرسال:

بعد إجراء عدة قياسات واختبارات، تم استنتاج زاوية إرسال الحساس المصمم لتساوي  $\theta = 45^\circ$ .

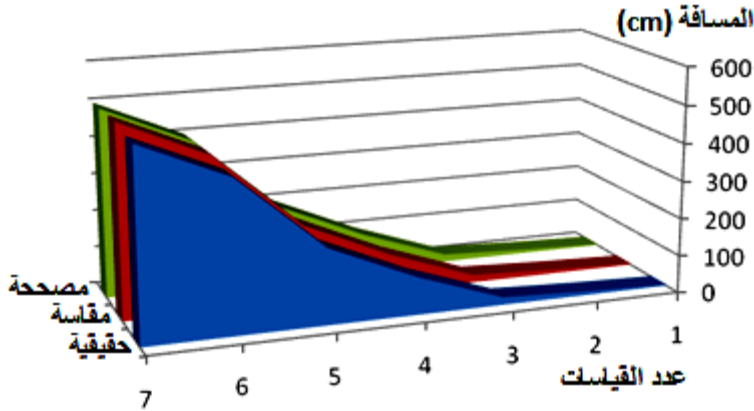
### 4.2.6- المسافة الدنيا والعظمى:

يبين الجدول (4) مقارنة بين القيم الحقيقية والمقاسة والمصححة للحساس المطور. حيث نلاحظ من الجدول أن المسافة الدنيا 3cm، والتي يبدأ الحساس انطلاقاً منها باكتشاف الأجسام وإعطاء قياسات متقاربة من القيم الحقيقية، ومن بعدها الحصول على المسافة العظمى 500cm، والتي لا يستطيع الحساس من بعدها رؤية أي جسم. وتعتبر هذه القيم جيدة ومناسبة، وذلك مقارنة بحساسات Polaroid و SRFxx الشهيرة والمعتمدة من قبل معظم المصممين والعاملين في هذا المجال.

يمكن تفسير القيم الخاطئة التي ظهرت تحت المسافة الدنيا بوقوع القياس ضمن منطقة فريسنل، وأما القيم الصفرية فوق المسافة العظمى فهي بسبب ضعف طاقة الموجات فوق الصوتية على الانتشار لأكثر من هذه المسافة والعودة.

الجدول (4): تحديد المسافة الدنيا والعظمى.

مسافة مصححة (cm)	مسافة مقاسة (cm)	مسافة حقيقية (cm)
قيم عشوائية خاطئة	4.41	1
	7.57	2
<b>3.00</b>	<b>3.03</b>	<b>3</b>
10.00	10.10	<b>10</b>
20.03	20.20	<b>20</b>
100.18	101.00	<b>100</b>
200.39	202.00	<b>200</b>
400.81	404.00	<b>400</b>
<b>501.67</b>	<b>505.00</b>	<b>500</b>
لا يوجد إشارة	0	<b>501</b>



الشكل (21): تصحيح المسافة المقاسة.

كما هو مبين في الجدول (4) والشكل (21)، فإننا نستنتج وجود فرق بين المسافة الحقيقية والمقاسة والمصححة، وهذا الفرق نتيجة خطأ مرتبط بشكل أساسي بعامل الحرارة وتردد الإرسال وزاوية الانتشار بالإضافة إلى جهد العتبة المحدد لمستوى اكتشاف الصدى، حيث يتم معالجة جهد العتبة عن طريق ضبط ومعايرة دارة الحساس. أما المسافة المصححة فقد تم الحصول عليها بعد الأخذ بالاعتبار نموذج خطأ القياس والبارامترات المذكورة أعلاه. كما ونلاحظ تقارب المنحنيات الممثلة للمسافات الثلاث، وخصوصاً تطابق المسافة المصححة مع المسافة الحقيقية.



يبين الجدول (5) خصائص الحساس كعنصر من عناصر النظام، والذي بالامكان إعادة تعريفه وتهيئته وبرمجته بسهولة، كما يمكن أيضاً إزالته أو استبداله بعنصر آخر في أي وقت دون أية مشاكل، حسب مبدأ "ركب وشغل" (Plug and play)، وذلك حسب وظيفة نظام الروبوت والمهام المكلف بأدائها.

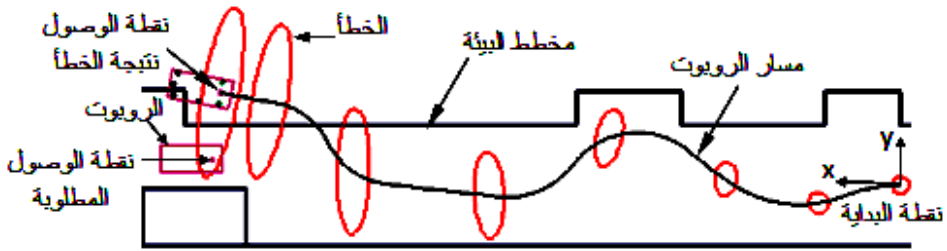
الجدول (5): خصائص الحساس المصمم.

45°	زاوية الارسال
3cm	المسافة الدنيا
500cm	المسافة العظمى
0.03cm	الخطأ
(x, y, φ)	الزاوية والاحداثيات بالنسبة للروبوت

### 3.6- نتائج اختبار نظام الحساس المصمم:

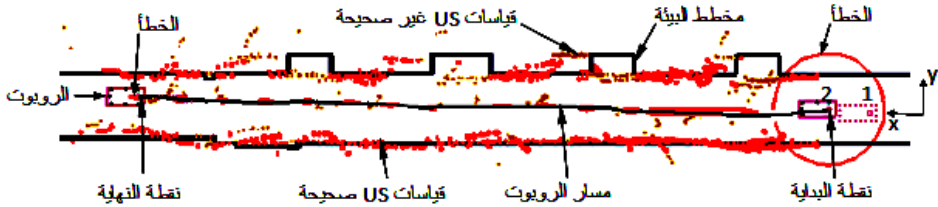
من أجل اختبار أداء نظام الحساس الذي قمنا بتصميمه وتطبيقه ضمن PSOC، وكذلك نموذج خطأ القياس والبارامترات المذكورة أعلاه. فقد نفذنا عدة تجارب واختبارات من خلال إجراء محاكاة لنظام روبوتي عن طريق تحميل ثلاثة حساسات فوق صوتية (الجهة الأمامية واليمنى واليسرى) على روبوت متحرك ضمن بيئة معروفة الإحداثيات، وذلك من أجل العمل على اكتشاف عناصر البيئة وبالتالي المساهمة في تصحيح مسار الروبوت والوصول إلى الهدف المطلوب بأقل نسبة خطأ.

يبين الشكل (22) تزايد الخطأ (Uncertainty) الناتج في مسار الروبوت (القطع الناقص) على المحورين (x,y) مع تقدم الروبوت، وذلك دون الأخذ بالاعتبار نموذج تصحيح الخطأ مع العوامل الأخرى، والاكتفاء بعملية تطابق قياسات الحساس مع مخطط البيئة المعروف مسبقاً، ما أدى في النهاية إلى ضياع الروبوت وعدم بلوغه نقطة الوصول المطلوبة.



الشكل (22): الخطأ الناتج في مسار الروبوت ممثلاً بقطع ناقص.

لاختبار نموذج الحساس الذي تم تطويره والمعبّر عنه في المعادلة (8) والشكل (9) مع باقي عوامل التصحيح، فقد قمنا بإجراء العديد من التجارب والاختبارات أدت إلى الحصول على النتائج الموضحة في الشكل (23).



الشكل (23): تصحيح الخطأ الناتج في مسار الروبوت.

حيث تم في البداية وضع الروبوت في النقطة 2 بقيمة خطأ 1m ممثل على شكل دائرة عن مكانه الأصلي في النقطة 1. نلاحظ التصحيح الدوري للخطأ مع تقدم الروبوت، وقد استنتج ذلك بتناقص حجم القطع الناقص المعبر عن الخطأ بشكل كبير وملحوظ تماماً، ليصل الروبوت إلى نقطة النهاية المطلوبة بقيمة خطأ صغيرة (4cm)، وذلك على عكس ما تم استنتاجه في الشكل (22).

#### 7- الخلاصة والآفاق المستقبلية:

قدمنا في هذا البحث تصميماً لحساس ذكي (Intelligent Sensor) بالاعتماد على حساسات فوق صوتية، قابلاً للتحميل على مركبة متحركة. يتمتع بصغر الحجم وبقلة استهلاك الطاقة، ومتحكم به من قبل نظام إلكتروني مبرمج (Programmable Electronic System) قابلاً للتعديل والتطوير دون أعباء إضافية أخرى، ويمكن استعماله بسهولة من قبل أكبر عدد ممكن من المستخدمين. بالإضافة إلى ذلك، فإن النظام المطور يمتلك ميزة رئيسية هي سرعة معالجة المعلومات واتخاذ القرار المناسب

بأسرع ما يمكن وفي مجال الزمن الحقيقي (Real Time). وقد عرضنا في هذا المقال أيضاً، نموذجاً برمجياً لتصحيح خطأ القياس الناتج عن الحساس فوق الصوتي مع العوامل الأخرى، مما ساهم بشكل فعال في تصحيح مسار روبوت متحرك ضمن بيئة معروفة (Known Environment) من خلال الاستدلال بإحداثيات عناصرها والوصول إلى الهدف المطلوب بنسبة خطأ صغيرة جداً. ما يدل على فعالية ونجاح النظام الذي قمنا بتصميمه ونمذجته ومحاكاته، وأنه مناسب تماماً للتطبيقات الروبوتية.

فيما يتعلق بالآفاق المستقبلية المرتكزة على ما تم التوصل إليه من توصيف وبناء لنظام برمجي ومادي ذو وثوقية وكفاءة عالية، فإنه بالإمكان تطوير نظام روبوتي متكامل يستخدم عدة حساسات فوق صوتية مع حساسات أخرى (كاميرا مثلاً) لنحصل على ما يسمى بالنظام الهجين (Hybrid System) ليجمع ويكامل الايجابيات وينحي السلبيات، وتكون عملية المعالجة هنا باستخدام طريقة دمج وتكامل البيانات (Data Fusion)، وذلك بالاعتماد على دارة حقل مصفوفة البوابات القابلة للبرمجة ( Field Programmable Gate Arrays: FPGA) لخاصيتها بامتلاك عدد كبير جداً من المداخل والمخارج بالإضافة لتفوقها بالمعالجة في الزمن الحقيقي. حيث سيسمح النظام المقترح بتكامل البنية المادية والبرمجية ونظام التحصيل والمعالجة والتحكم ضمن شريحة FPGA دون الاستعانة بحاسوب مركزي من أجل معالجة البيانات.

### المراجع:

- 1- HUANG J & TRIEDMAN J & VASILYEV N & SUEMATSU Y & CLEVELAND R & DUPONT P, 2007, Imaging Artifacts of Medical Instruments in Ultrasound-Guided Interventions, Journal of Ultrasound in Medicine.
- 2- MCALEAVEY S & RUBENS D & PARKER K, 2003, Doppler ultrasound imaging of magnetically vibrated brachytherapy seeds, IEEE Trans Biomed Eng.
- 3- REN H & VASILYEV N & DUPONT P, 2011, Detection of Curved Robots using 3D Ultrasound, Conf Proc IEEE/RSJ Intelligent Robots and Systems (IROS).
- 4- BORENSTEIN J & Everett H & FENG L, 1996, Where am I? Sensors and Methods for Mobile Robot Positioning.
- 5- WESTE N & HARRIS D, 2005, CMOS VLSI Design: A Circuit and Systems Perspective.
- 6- Intel Corporation, 2009, 15 technical papers, International Solid State Circuits Conference (ISSCC).
- 7- VIJAY K & CHONLAMETH A, 2005, A Platform-Centric Approach to System-on-Chip (SOC) Design.
- 8- PRABHAT M & NIKIL D, 2005, Functional Verification of Programmable Embedded Architectures: A Top-Down Approach.
- 9- Documentation about PSOC, <http://www.cypress.com>.
- 10- GEORGIOS L & MARTIN B, 2006, A Multi-agent System Architecture for Modular Robotic Mobility Aids, European Robotics Symposium.
- 11- THOMAS B, 2006, Embedded Robotics: Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems.
- 12- BARSHAN B & KUC R, 1990, Differentiating sonar reflections from corners and planes by employing an intelligent sensor, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence.

13- HEALE A & KLEEMAN L, 2001, Fast target classification using sonar, IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems.

14- BAUER R & RENCKEN W, 1995, Sonar feature based exploration, proceeding of the IEEE/RSJ/GI International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'95).

15- CROWLEY J, 1989, World modeling and position estimation for a mobile robot using ultrasonic ranging, IEEE Int. Conf on Robotics and Automation.

16- ROCHIT R, 2000, System-on-a-Chip: Design and Test.

## Implementing the Architecture of an Ultrasonic Sensor into a Programmable System and Modeling it for Robotic Applications

**Dr. Eng. Ammar Zakzouk**

Instructor in Mechanical and Electrical Engineering Faculty  
Albaath University

### Abstract

This paper presents the design, modeling, simulation, and implementation of an Ultrasound Sensor (US) into a Programmable System On Chip (PSOC). This application is oriented to robotic system. The choice of US is justified thanks to its characteristics in comparison with other sensors, and its congruity with environment where a mobile robot moves. Carried US on the robot aid it to explore its environment, and acquire attributes necessary for vision, then transmit them to a measurement, processing, and control system embedded into computer. After an analytical study of US characteristics, the simulation and programming of US uncertainty model, to treat errors resulted in measurements, will be approached in this article also.

The important obtained results approve the originality of this paper, which show that the designed architecture of US is implementable into mobile systems. This architecture verifies high speed in performance, good reliability, small size, and less power consumption, in addition to its quality to be programmable, configurable, modular, and evolutionary, in order to allow the addition of other units without radical modification. On the other hand, the results show also that the sensor model capable to process and correct measurement errors, and the carried out successful tests of simulation correcting robot's trajectory confirm the results validation.

**Key-words:** Programmable Microcontrollers on Chip – Modeling and Simulation – Robotic Systems – Ultrasound Sensors.