

تطوير خوارزمية لتحديد موقع مرسل لاسلكي باستخدام الهوائيات غير الموجهة

مسعود علي علي*

(تاريخ الإيداع 11 / 5 / 2016. قُبل للنشر في 28 / 8 / 2016)

□ ملخص □

ناقش هذا العمل طريقة استخدام نظام تحديد الموقع GPS بحجم صغير ورخيص، مع مقياس شدة الحقل وحاسوب شخصي، لتحديد الموقع الجغرافي لمرسل إشارة راديوية متعاون بسرعة وبفاعلية، وهذا التحديد له مجال واسع في التطبيقات العسكرية والمدنية.

يمكن تحديد الإحداثيات الجغرافية لمرسل بمساعدة مراقب متحرك، يستقبل الإشارات الواردة من المرسل من مواقع مختلفة.

اشتقت العلاقات التحليلية لحساب موقع المرسل المكتشف من أربعة مواقع جغرافية مختلفة باستعمال الجبر الخطي أو طريقة المدى الزائف، تم بناء نموذج رياضي ثم استخدام الـ MATLAB لحل المعادلات الرياضية الناتجة، ونمذجة طريقة تحديد المواقع ورسمها على خريطة جغرافية .

الكلمات المفتاحية: تقنية تحديد الموقع - مقياس شدة الحقل - نظام تحديد المواقع الجغرافية GPS - الطول والعرض والارتفاع الجغرافية .

* حاصل على درجة ماجستير في الاتصالات الكهربائية من قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Algorithms Development for Emitter-location Determination Using Un-directional Antennas

Masoud Ali Ali*

(Received 11 / 5 / 2016. Accepted 28 / 8 / 2016)

□ ABSTRACT □

This work discusses the feasibility of applying a small and inexpensive GPS, a Field Strength Meter (FSM) and a personal computer, that can activity and rapidly determine the Geo-locations of RF cooperated emitter, which have a wide range of both military and civilian applications.

The emitter's Geo-coordinates can be estimated by a single moving observation system, which receives signals from the emitter, and measures his Geo-locations and Field Strengths of the transmitted signal at four Positions

Analytic Formulas are derived to calculate the location of Emitter, which detected from four Positions by using of Linear Algebra or pseudo range's solution, The MATLAB was used to solve the four Equations and to simulate the Geo-Positions on Geo-Map.

Key words: Emitter Location Techniques – Field Strength Meter – GPS – geographic latitude, longitude and altitude.

*Master degree, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدّمة

تنتشر أجهزة الإرسال اللاسلكية بكثافة هائلة. منها المرخص له ومنه - غير الشرعي - والمهمة الأساسية لهذا البحث: هي تحديد الموقع الدقيق لجهاز إرسال بعد أن حدد تردده والمنطقة التي يبث منها. عن طريق نظام إدارة الطيف الترددي المتوفرة في كل بلد.

يتم تحديد مواقع مصادر الإشارات اللاسلكية Emitter Location عادة بأجهزة تدعى محددات الاتجاه (راشادات) (Directional Finder (DF)، ويتم تنفيذ تحديد موقع المرسل باستخدام خوارزميات مختلفة [1] و [2]. ولكن محددات الاتجاه تحتاج إلى هوائيات كبيرة أو مصفوفة من الهوائيات، لتؤمن مخططاً إشعاعياً حاد التوجيه، يجعل من نظام التتبع والتحديد مقلتا للنظر. بينما سنستخدم في هذه الدراسة مقياس شدة الحقل الذي يحوي هوائي صغير.

أهمية البحث وأهدافه

يهدف البحث إلى إيجاد متطلبات نظام تحديد موقع جهاز إرسال باستعمال تجهيزات ممكن شراؤها من السوق، وبأسعار اقتصادية دون الحاجة للارتباط بشركة تورد كامل التجهيزات والبرمجيات الخاصة بها. إن التوجه الحديث في إنجاز أي مشروع يتم بتجميع محتوياته من الشركات الأصلية المصنعة لها، وربط هذه التجهيزات مع بعضها البعض لتحقيق الهدف المطلوب منها، وبالتالي تزداد الخبرة الوطنية لتنفيذ ما يطلب منها من مشاريع متكاملة مهما كان نوعها.

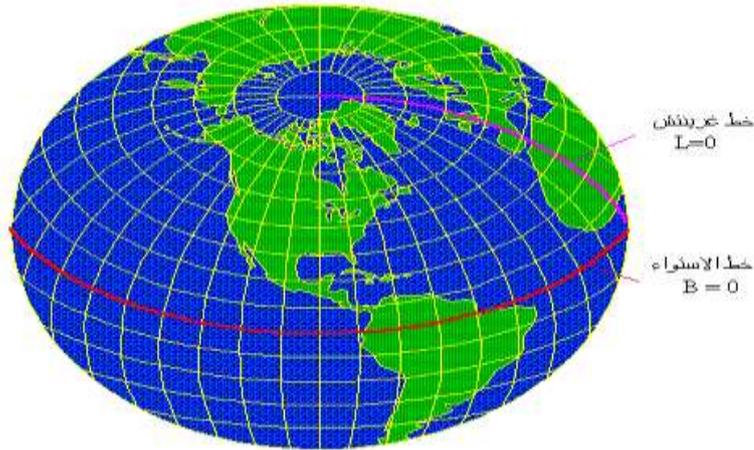
من خلال الاطلاع على المراجع المختصة [1] وحتى [12] تبين أنه يلزمنا جهاز تحديد الموقع GPS، يصنع من قبل شركات متعددة، قابلاً للوصل مع الحاسوب، وجهاز قياس شدة الإشارة الواردة من المرسل المراد تحديد موقعه، والذي يركب على سيارة أو طائرة ويقاس شدة الإشارة المستقبلية بهوائي غير موجه، صغير الحجم وقابل للحمل.

طرائق البحث ومواده

تم استخدام العلاقات التحليلية لحساب موقع المرسل المكتشف من أربع مواقع جغرافية مختلفة باستخدام الجبر الخطي وطريقة المدى الزائف وذلك باستخدام ال MATLAB للوصول إلى النتائج .

1- أسس تحديد الموقع الجغرافي

تم تقسيم الكرة الأرضية إلى خطوط عرض B أفقية أكبرها خط الاستواء (وهو دائرة)، ودوائر موازية لها عددها 180 (90 في كل من نصفها بالإضافة إلى القطبين)؛ حيث تساعد درجة العرض في تعيين موقع هدف على سطح الأرض، أي بعده عن خط الاستواء، كما تم تقسيمها طولياً إلى خطوط طول L، وهي عبارة عن أنصاف دوائر تصل القطبين مع بعضهما البعض، ويبلغ عددها 360 خط مبدؤها خط غرينتش، وهي تفيد في تحديد موقع ما، كما هو موضح بالشكل (1) .



الشكل (1) خطوط الطول L وخطوط العرض B

من أجل الدراسة الرياضية والوصول إلى نتائج وقياسات دقيقة في نظام تحديد الموقع، لا يمكن الاعتماد على كروية الأرض، وإنما يتم تمثيلها بمجسم قطع ناقص. يوصف القطع الناقص بالعلاقة الرياضية:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

حيث: a نصف القطر الكبير، و b نصف القطر الصغير للقطع الناقص
يتم تمييز القطع الناقص عن الدائرة بدرجة التقاطح f ، والذي يوصف رياضياً بالعلاقة:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (2)$$

ويميز أحياناً بمربع ثابت اللامركزية e المعروف بالشكل:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 2f - f^2 \quad (3)$$

قيم الثوابت من أجل التقريب الدقيق هي:

$$a = 6378.3 \text{ km}, b = 6356.8 \text{ km}, e = 0.0819, f = 0.0033$$

3-1-1 منظومة الإحداثيات الجغرافية

يعتبر مركز هذه الإحداثيات هو مركز الأرض الممثلة بمجسم قطع ناقص، ويتم تحديد وضع النقاط على سطح مجسم القطع الناقص بالإحداثيات الثلاثة:

B : زاوية العرض الجغرافية، وتقدر بالدرجة، وهي الزاوية بين الناظم على نقطة ما من سطح الأرض، ولتكن

M ، وبين مستوي خط الاستواء، وهي تحسب ابتداءً من مستوي خط الاستواء نحو القطبين؛ حيث الإشارة (+) عند

الحساب نحو الشمال و (-) عند الحساب نحو الجنوب، أي أن مجالها يمتد من:

$$(-90^0 \leq B \leq +90^0)$$

L : زاوية الطول الجغرافية، وتقدر بالدرجة، وهي الزاوية بين الضلعين المحصورين بين مستويي خط الطول

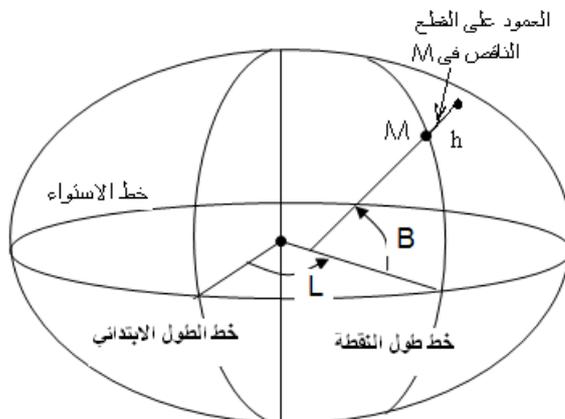
الابتدائي (خط غرينتش) و خط طول النقطة المعطاة (النقطة M) مع مستوي خط الاستواء، ومجال هذه الزاوية هو

:

$$(-180^{\circ} \leq 180^{\circ} W \leq L \leq 180^{\circ} O \leq +180^{\circ})$$

h : المسافة بين الموقع الجغرافي والنقطة M الواقعة على سطح الكرة الأرضية، على امتداد الخط الواصل بين

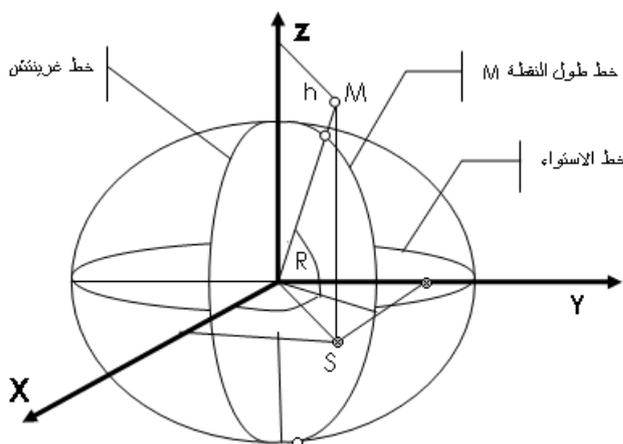
مركز مجسم القطع الناقص، الذي توصف به الكرة الأرضية والنقطة M ، وهذا موضح في الشكل (2).



الشكل (2) منظومة الإحداثيات الجغرافية

2-1-3 منظومة الإحداثيات المركزية المتعامدة

يتجه المحور Z باتجاه محور دوران الأرض حول نفسها، والمحور X وفق تقاطع خط الطول الابتدائي (خط غرينتش) مع مستوي خط الاستواء، والمحور Y متعامد مع المحورين X , Z ، ويبين الشكل (3) هذه المنظومة، وإحداثيات نقطة M معلقة فوق قطع ناقص، وعلى ارتفاع h في الفراغ المحيط بالأرض، ويتم تحديد إحداثيات أي نقطة بإسقاطها على المحور Z، وعلى مستوي خط الاستواء فنحصل على نقطة جديدة S نسقطها على المحورين X, Y .



الشكل (3) منظومة الإحداثيات المركزية المتعامدة

- تحويل الإحداثيات الجغرافية إلى مركزية متعامدة

يستعمل هذا التحويل من أجل خوارزمية معالجة معلومات تحديد موقع الهدف. يتم التحويل وفق العلاقات التالية

[9] و [11] :

$$\begin{aligned} x &= (a\xi + h) * \cos(B) * \cos(L) \\ y &= (a\xi + h) * \cos(B) * \sin(L) \\ z &= (a\xi(1 - e^2) + h) * \sin(B) \\ \xi &= [1 - e^2 \cdot \sin^2(B)]^{-0.5} \end{aligned} \quad (4)$$

حيث :

تعبّر عن أثر تفلطح الأرض على نصف قطر الأرض الأعظمي

- تحويل الإحداثيات المركزية المتعامدة إلى جغرافية

يستعمل هذا التحويل من أجل تحديد الإحداثيات الجغرافية بعد خوارزمية تحديد موقع الهدف. يتم التحويل وفق

العلاقات التالية:

$$\begin{aligned} B &= a \tan\left(\frac{z + e'^2 b \sin^3 \theta}{p - e^2 a \cos^3 \theta}\right) \\ L &= a \tan(y/x) \\ h &= \frac{p}{\cos B} - \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}} \end{aligned} \quad (5)$$

حيث:

$$p = \sqrt{x^2 + y^2} \quad , \quad \theta = a \tan\left(\frac{a z}{b p}\right) \quad , \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

3-2 الطريقة المعتمدة في تحديد موقع المرسل

تعتمد هذه الطريقة على تحديد موقع الهدف بالاعتماد على مواقع معروفة أخرى، وتسمى هذه الطريقة بالتحديد النسبي، وتتطلب وجود جهازين على الأقل، إحداهما ثابت في نقطة معلومة الإحداثيات، والآخر على النقطة المطلوب حساب إحداثياتها بدقة، ويتطلب هذا النوع من القياس عمليات تحليل ومعالجة للبيانات، التي يتم جمعها من خلال عدة قياسات (أربع قياسات على الأقل) من مواقع مختلفة للحصول على الدقة العالية المطلوبة.

هذا يعني الحاجة إلى التجهيزات التالية لتكريبها في وسيلة تحديد الموقع وهي: جهاز GPS ، ومقياس شدة

حقل؛ حيث يوصلان مع حاسوب محمول، لإعطائه معلومات عن موقع أخذ القياس - أي خط الطول وخط العرض

(B, L, h) - في لحظة قياس شدة الحقل الكهربائي E للمرسل المراد تحديد موقعه.

تقوم وسيلة الكشف بطلعة جوية (إذا كانت طائرة) بالقرب من منطقة الهدف المراد تحديده، أو جولة حول

منطقة الهدف (إذا كانت سيارة) ومن خلال قياس شدة الحقل والموقع الجغرافي لأربعة مواقع مختلفة خلال الجولة،

وإدخالها إلى الحاسوب آلياً، يقوم هذا الحاسوب بتنفيذ الخوارزمية التي تم تطويرها وكتابتها على شكل

برنامج MATLAB، والتي ستشرح لاحقاً برسم المواقع الجغرافية - التي أخذت عندها القياسات ورسم سطوح الكرات

التي يقع عليها الهدف - ومن ثم حساب الموقع الجغرافي للمرسل (تحديد خط الطول وخط العرض له) ، ورسم هذا الموقع على شاشة الحاسوب المزود بخارطة جغرافية للمنطقة كخلفية للشاشة ، وبالتالي معرفة المنطقة الجغرافية التي يقع بها المرسل.

3-2-1 الآلية الرياضية لتحديد المرسل

تحديد موقع المرسل يتطلب معرفة إحداثياته الجغرافية. ويتم ذلك بتحديد بعده عن موقع معروف، فإذا فرضنا أن الهدف المطلوب تحديده يبعد عن موقع القياس (x_1, y_1, z_1) مسافة R_1 ، التي تحسب بقياس شدة الإشارة لمرسل ذي استطاعة مرسل. حيث يعطى شدة الحقل الكهربائي الناتج عن مرسل بالعلاقة [2] :

$$E[mv/m] = \frac{245\sqrt{P[KW].G}}{R[Km]} \quad (6a)$$

حيث بالفرض أن المرسل يقع على سطح الأرض. و P : استطاعة المرسل و G : ربح الهوائي تم اعتبار أن جهاز الإرسال المراد كشفه هو جهاز المجيب الآلي والذي تزود به بدلة الطيار، وهو يستجيب فقط للشيفرة المرسل من مركز القيادة، ليبدأ ببث استطاعة ثابتة ورياح محدد أثناء إجراء عمليات القياس ، من المعادلة (6a) يمكن أن نحسب المسافة بالعلاقة:

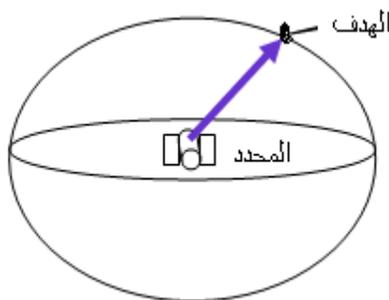
$$R[Km] = \frac{const.}{E[\mu v/m]} \quad (6b)$$

حيث: $const. = 245\sqrt{P[KW].G} \approx 11000$ للمرسل المدروس. باعتبار أن أجهزة الإرسال المكتشفة

استطاعتها 2w وريحتها 1 [4].

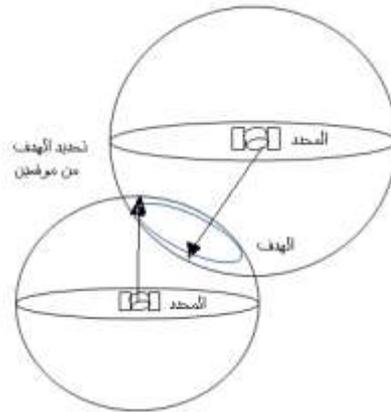
هذا يعني أن الهدف يقع على سطح كرة نصف قطرها R_1 ، ومركزها في (x_1, y_1, z_1) ، كما هو مبين

بالشكل (4) [12].



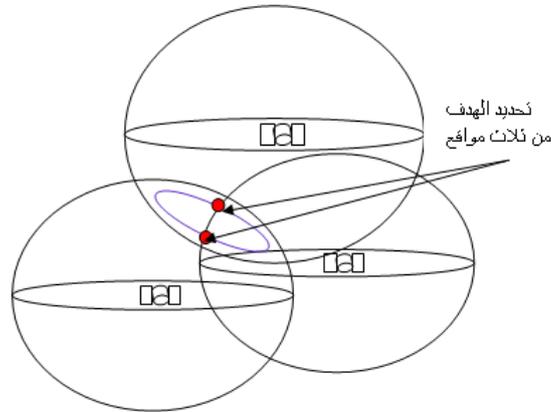
الشكل (4) موقع الهدف المحدد من موقع واحد

وجود الهدف على سطح كرة يعني عدداً لا متناهياً من الاحتمالات، لتقليص هذا العدد من الاحتمالات، نأخذ قياس آخر من نقطة مرجعية أخرى (x_2, y_2, z_2) ، والهدف يبعد عنها بمقدار R_2 ، عندها ينتمي الهدف لسطحي الكرتين، أي تقاطع الكرتين وهو بالحالة العامة دائرة كما في الشكل (5).

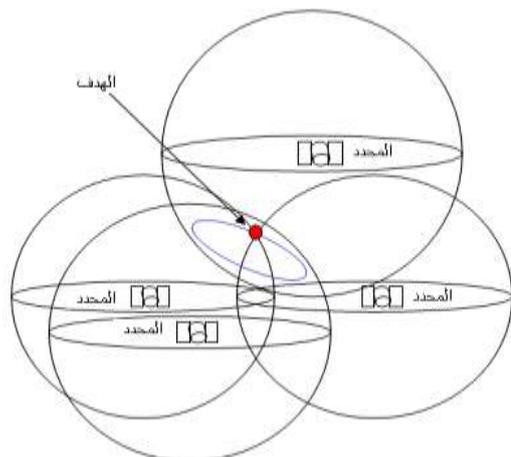


الشكل (5) تحديد الهدف من موقعين

يكون الهدف المطلوب في أي نقطة من محيط دائرة تقاطع الكرتين، وهذه النقاط متعددة، ولتقليلها نختار نقطة قياس ثالثة، عندها سيكون لدينا ثلاث كرات تقاطعهن بالحالة العامة في نقطتين كما هو موضح بالشكل (6). لا بد هنا من الإشارة أنه يتم الخلط كثيرا من قبل الدارسين باعتبار أن تقاطع ثلاث كرات في نقطة وحيدة، وهذا خطأ هندسي كبير لا يمكن تجاوزه، وبالدراسة تبين أن المسافة بين هاتين النقطتين كبيرة، لذلك تم تصميم المستقبلات، ووضع الخوارزميات على رفض النقطة البعيدة عن سطح الأرض، وقبول النقطة القريبة فقط، وهو من وجهة نظر هندسية الأوفر والأقل تعقيدا من استخدام نقطة مرجعية رابعة، مع العلم أن تقاطع أربع كرات يتم في نقطة واحدة كما في الشكل (7).



الشكل (6) تحديد الهدف من ثلاثة مواقع



الشكل (7) تحديد الهدف من أربعة مواقع

2-2-3 التحليل الرياضي لتحديد المواقع

تعطى المعادلة العامة لسطح الكرة التي يقع عليه الهدف بالعلاقة:

$$R^2 = (x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 \quad (7)$$

حيث: x_1, y_1, z_1 إحداثيات مكان التحديد (مركز الكرة). R : بعد الهدف عن مكان التحديد (نصف قطر

الكرة) ، والذي يستنتج من شدة الحقل المقاس.

ويوجد خطأ في قياس شدة الحقل، ينتج عنه خطأ في قياس بعد الهدف الذي نرسم له δR ، وبناءً على ذلك

يعطى البعد المقاس R_m بالمعادلة:

$$R_{mi} = R_i + \delta R = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + \delta R \quad (8)$$

حيث:

R_{mi} : المسافة المستنتجة من قيم شدة الحقول E_{mi} المقاسة .

R_i : المسافة الحقيقية بين المرسل وموقع التحديد.

x, y, z : إحداثيات موقع المرسل.

x_i, y_i, z_i : إحداثيات موقع المحدد.

في حالة إجراء التحديد من أربعة مواقع مختلفة فأن:

$$\begin{aligned} R_{m1} &= \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2} + \delta R \\ R_{m2} &= \sqrt{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2} + \delta R \\ R_{m3} &= \sqrt{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2} + \delta R \\ R_{m4} &= \sqrt{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2} + \delta R \end{aligned} \quad (9)$$

حيث اعتبر الخطأ في قياس البعد δR متساوي.

يتم حساب المسافات $R_{m1}, R_{m2}, R_{m3}, R_{m4}$ بقياس شدة الحقل في موقع التحديد الناتج عن إشارة المرسل

بالعلاقة (6a) ، كما يتم حساب إحداثيات المحدد x_i, y_i, z_i عن طريق GPS الذي يقيس B_i, L_i, h_i لموقع

مكان التحديد. تدخل هذه المعطيات إلى الحاسوب، الذي يقوم حسب الخوارزمية المبينة بالشكل (8)، بإيجاد إحداثيات المرسل $x, y, z, \delta R$.

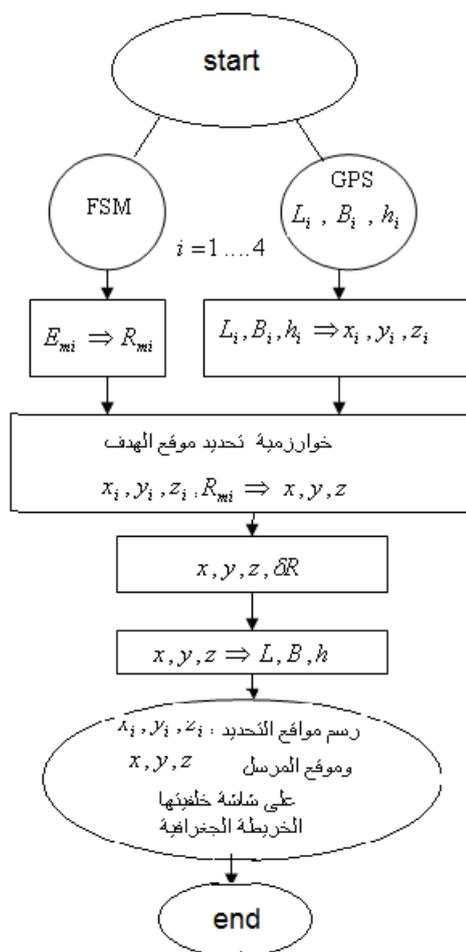
جملة المعادلات السابقة لاختية وحلها مباشرة يترافق بصعوبات كبيرة، ومن أجل تبسيطها نعمل على تحويلها إلى خطية، ومن ثم إجراء الحسابات التكرارية. في الحالة العامة يتم نشر التابع أشعاعي $F(x)$ غير الخطي وفق سلسلة تايلور [10] و [11] كما يلي:

$$F(x) = F(x_0) + \frac{1}{1!} \frac{\partial F(x)}{\partial x} (x_0 - x) + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 F(x)}{\partial x^2} (x_0 - x) + \dots \quad (10)$$

بالنسبة لتابع متعدد المتحولات $F(x, y, z, \delta R)$ فإن عملية نشره تعطى بالعلاقة:

$$F(x, y, z) = F(x_0, y_0, z_0) + \frac{1}{1!} \left\{ \frac{\partial F(x, y, z)}{\partial x} (x_0 - x) + \dots + \frac{\partial F(x, y, z)}{\partial y} (y_0 - y) + \frac{\partial F(x, y, z)}{\partial z} (z_0 - z) \right\} \quad (11)$$

في حالتنا لدينا أربعة توابع تحديد: $F_i(x, y, z, \delta R)$; $i = 1 \dots 4$ ونريد حلهم حلاً مشتركاً، فإنه يمكن إهمال الحدود العليا من المعادلة السابقة دون أن يؤثر ذلك على دقة الحل، نظراً لصغر قيمة هذه الحدود، وبناءً عليه سيكون الشكل الخطي للتوابع المذكورة أعلاه على النحو المبين بالعلاقة (12).



الشكل (8) خوارزمية تحديد موقع المرسل المتعاون

$$F_i(x, y, z, \delta R) = F_i(x_0, y_0, z_0) + \frac{1}{1!} \left\{ \frac{\partial F_i(x, y, z)}{\partial x} (x_0 - x) + \dots + \frac{\partial F_i(x, y, z)}{\partial y} (y_0 - y) + \frac{\partial F_i(x, y, z)}{\partial z} (z_0 - z) + \dots + \frac{\partial F_i(x, y, z)}{\partial \delta R} (\delta R_0 - \delta R) \right\} \quad (12)$$

$$i = 1 \dots 4$$

حيث أن: δR_0 تعبر عن الخطأ في قياس المسافة للموقع الزائف في x_0, y_0, z_0 . وتساوي الصفر .
 بينما δR تعبر عن الخطأ في قياس المسافة للموقع الزائف في x, y, z الجديد .
 إن المعادلات الأربعة المذكورة في المعادلة (12) عبارة عن معادلات خطية متماثلة من حيث الشكل ، فمن أجل حلها حلاً مشتركاً يفضل تحويلها إلى شكل مصفوفي ، وذلك بالصيغة التالية مع الملاحظة أن $(1!=1)$.

$$\begin{bmatrix} F_1(x, y, z, \delta R) \\ F_2(x, y, z, \delta R) \\ F_3(x, y, z, \delta R) \\ F_4(x, y, z, \delta R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1(x_0, y_0, z_0) \\ F_1(x_0, y_0, z_0) \\ F_1(x_0, y_0, z_0) \\ F_1(x_0, y_0, z_0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x} & \frac{\partial F_1}{\partial y} & \frac{\partial F_1}{\partial z} & \frac{\partial F_1}{\partial \delta R} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x} & \frac{\partial F_2}{\partial y} & \frac{\partial F_2}{\partial z} & \frac{\partial F_2}{\partial \delta R} \\ \frac{\partial F_3}{\partial x} & \frac{\partial F_3}{\partial y} & \frac{\partial F_3}{\partial z} & \frac{\partial F_3}{\partial \delta R} \\ \frac{\partial F_4}{\partial x} & \frac{\partial F_4}{\partial y} & \frac{\partial F_4}{\partial z} & \frac{\partial F_4}{\partial \delta R} \end{bmatrix}_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0 \\ z=z_0}} * \begin{bmatrix} x_1 - x \\ y_1 - y \\ z_1 - z \\ \delta R_0 - \delta R \end{bmatrix}$$

بفرض أن إحداثيات الهدف: $K = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 0 \end{bmatrix}$ و $K_0 = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \\ \delta R \end{bmatrix}$ إحداثيات الهدف الافتراضية، فتكون المصفوفة:

هي مصفوفة الفرق بين القيم المطلوب تحديدها والقيم المفروضة، والمصفوفة:

$$K - K_0 = \Delta K = \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \\ -\delta R \end{bmatrix}$$

هي مصفوفة التابع غير الخطي المحسوب من القيم المفروضة. والمصفوفة:

$$F(K) = \begin{bmatrix} F_1(x, y, z, \delta R) \\ F_2(x, y, z, \delta R) \\ F_3(x, y, z, \delta R) \\ F_4(x, y, z, \delta R) \end{bmatrix}$$

هي مصفوفة الفرق بين القيم المقاسة والقيم

$$F(K) - F(K_0) = \begin{bmatrix} F_1(x, y, z, \delta R) - F_1(x_0, y_0, z_0) \\ F_2(x, y, z, \delta R) - F_2(x_0, y_0, z_0) \\ F_3(x, y, z, \delta R) - F_3(x_0, y_0, z_0) \\ F_4(x, y, z, \delta R) - F_4(x_0, y_0, z_0) \end{bmatrix}$$

المحسوبة للتابع غير الخطي. والمصفوفة B:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x} & \frac{\partial F_1}{\partial y} & \frac{\partial F_1}{\partial z} & \frac{\partial F_1}{\partial \delta R} \\ \frac{\partial F_2}{\partial x} & \frac{\partial F_2}{\partial y} & \frac{\partial F_2}{\partial z} & \frac{\partial F_2}{\partial \delta R} \\ \frac{\partial F_3}{\partial x} & \frac{\partial F_3}{\partial y} & \frac{\partial F_3}{\partial z} & \frac{\partial F_3}{\partial \delta R} \\ \frac{\partial F_4}{\partial x} & \frac{\partial F_4}{\partial y} & \frac{\partial F_4}{\partial z} & \frac{\partial F_4}{\partial \delta R} \end{bmatrix}_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0 \\ z=z_0}} \Rightarrow B^T = J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial x} & \frac{\partial F_2}{\partial x} & \frac{\partial F_3}{\partial x} & \frac{\partial F_4}{\partial x} \\ \frac{\partial F_1}{\partial y} & \frac{\partial F_2}{\partial y} & \frac{\partial F_3}{\partial y} & \frac{\partial F_4}{\partial y} \\ \frac{\partial F_1}{\partial z} & \frac{\partial F_2}{\partial z} & \frac{\partial F_3}{\partial z} & \frac{\partial F_4}{\partial z} \\ \frac{\partial F_1}{\partial \delta R} & \frac{\partial F_2}{\partial \delta R} & \frac{\partial F_3}{\partial \delta R} & \frac{\partial F_4}{\partial \delta R} \end{bmatrix}_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0 \\ z=z_0}}$$

هي مصفوفة مشتقات التوابع اللاخطية عند القيم المفروضة. ومنقول هذه المصفوفة هي مصفوفة يعقوبيان Jacobian [12].

حيث أن: $\left[\frac{\partial F(K)}{\partial F} \right]$ مصفوفة المشتقات الجزئية للتابع غير الخطي (مصفوفة يعقوبيان). مع الأخذ

بالحسبان جميع الفرضيات السابقة والمصفوفات المفروضة يعطى الشكل المصفوفي لمعادلة تحديد الموقع بالشكل التالي:

$$F(K) = F(K_0) + \left[\frac{\partial F(K)}{\partial F} \right]^T (K - K_0) \quad (13)$$

حيث يمكن اعتبارها معادلة خطية شعاعية على شكل مصفوفة تحل بالعلاقة:

$$(K - K_0) = \left(\left[\frac{\partial F(K)}{\partial F} \right]^T \right)^{-1} [F(K) - F(K_0)] \quad (14)$$

أو بالشكل المبسط التالي:

$$\Delta K = (J^T)^{-1} = B^{-1} \cdot \Delta F$$

من خلال المعادلة (14) يمكن حساب شعاع الخطأ في قياس المسافة ومقارنة النتيجة مع حدود الدقة المعطاة أو المحددة، ومن ثم يتم تكرار عملية حساب وإيجاد شعاع الخطأ حتى يتم الوصول إلى الدقة المطلوبة. تطبيقاً لهذا التحليل الرياضي يمكن إظهار عملية التحويل الخطي لمعادلات المدى في منظومة تحديد الموقع بالشكل التالي:

$$\begin{bmatrix} PR_1(x, y, z, \delta R) \\ PR_2(x, y, z, \delta R) \\ PR_3(x, y, z, \delta R) \\ PR_4(x, y, z, \delta R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} PR_1^0 \\ PR_2^0 \\ PR_3^0 \\ PR_4^0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial PR_1^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_1^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_1^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_1^0}{\partial \delta R_0} \\ \frac{\partial PR_2^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_2^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_2^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_2^0}{\partial \delta R_0} \\ \frac{\partial PR_3^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_3^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_3^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_3^0}{\partial \delta R_0} \\ \frac{\partial PR_4^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_4^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_4^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_4^0}{\partial \delta R_0} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \\ \delta R - \delta R_0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

حيث أن: PR_1 هو المدى المقاس، و PR_1^0 هو المدى المحسوب بناءً على المكان الأولي، وبالتالي تكتب معادلة المدى على النحو التالي:

$$\begin{bmatrix} \Delta PR_1(x, y, z, \delta R) \\ \Delta PR_2(x, y, z, \delta R) \\ \Delta PR_3(x, y, z, \delta R) \\ \Delta PR_4(x, y, z, \delta R) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial PR_1^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_1^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_1^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_1^0}{\partial \delta R_0} \\ \frac{\partial PR_2^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_2^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_2^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_2^0}{\partial \delta R_0} \\ \frac{\partial PR_3^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_3^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_3^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_3^0}{\partial \delta R_0} \\ \frac{\partial PR_4^0}{\partial x_0} & \frac{\partial PR_4^0}{\partial y_0} & \frac{\partial PR_4^0}{\partial z_0} & \frac{\partial PR_4^0}{\partial \delta R_0} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \\ \delta R - \delta R_0 \end{bmatrix} \quad (16)$$

للحل نكتب العلاقة (16) بالشكل التالي وهي مماثلة للمعادلة (14):

$$\begin{bmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta y_0 \\ \Delta z_0 \\ \Delta \delta R_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{x_1 - x_0}{R_1(x_0, y_0, z_0)} & \frac{y_1 - y_0}{R_1(x_0, y_0, z_0)} & \frac{z_1 - z_0}{R_1(x_0, y_0, z_0)} & -1 \\ \frac{x_2 - x_0}{R_2(x_0, y_0, z_0)} & \frac{y_2 - y_0}{R_2(x_0, y_0, z_0)} & \frac{z_2 - z_0}{R_2(x_0, y_0, z_0)} & -1 \\ \frac{x_3 - x_0}{R_3(x_0, y_0, z_0)} & \frac{y_3 - y_3}{R_3(x_0, y_0, z_0)} & \frac{z_3 - z_0}{R_3(x_0, y_0, z_0)} & -1 \\ \frac{x_4 - x_0}{R_4(x_0, y_0, z_0)} & \frac{y_4 - y_0}{R_4(x_0, y_0, z_0)} & \frac{z_4 - z_0}{R_4(x_0, y_0, z_0)} & -1 \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} \Delta PR_1 \\ \Delta PR_2 \\ \Delta PR_3 \\ \Delta PR_4 \end{bmatrix} \quad (17)$$

حيث أن العبارات التحليلية المشتقات في مصفوفة المعادلة (16) تملك الشكل:

$$\begin{aligned} \frac{\partial PR_i^o(x, y, z, \delta R_0)}{\partial x_0} &= \frac{x_i - x_0}{R_i(x_0, y_0, z_0)} \\ \frac{\partial PR_i^o(x, y, z, \delta R_0)}{\partial y_0} &= \frac{y_i - y_0}{R_i(x_0, y_0, z_0)} \\ \frac{\partial PR_i^o(x, y, z, \delta R_0)}{\partial z_0} &= \frac{z_i - z_0}{R_i(x_0, y_0, z_0)} \\ \frac{\partial PR_i^o(x, y, z, \delta R_0)}{\partial \delta R_0} &= -1 \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta y_0 \\ \Delta z_0 \\ \Delta \delta R_0 \end{bmatrix} \quad \text{إن حل المعادلة (16) بالنسبة لخطأ الإحداثيات يملك الشكل:}$$

وتكون إحداثيات الهدف الصحيحة وقيمة خطأ قياس المدى هي :

$$\begin{bmatrix} x_{0i} \\ y_{0i} \\ z_{0i} \\ \delta R_{0i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 + \Delta x_{0i} \\ y_0 + \Delta y_{0i} \\ z_0 + \Delta z_{0i} \\ \delta R_0 + \Delta \delta R_{0i} \end{bmatrix} \quad (19)$$

حتى نستطيع تحديد موقع ما يجب أن نعرف أربعة معطيات، والتي تمثل الدخل، ومن ثم استنتاج الخرج عن طريق المعادلات السابقة .

كما تحل مجموعة المعادلات (9) بالطريقة التكرارية المعروفة في الجبر الخطي [11] ، حيث نعيد كتابتها

بالشكل :

$$(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 = (R_{m1} - \delta R)^2 \quad (20)$$

$$(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 = (R_{m2} - \delta R)^2 \quad (21)$$

$$(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2 = (R_{m3} - \delta R)^2 \quad (22)$$

$$(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2 = (R_{m4} - \delta R)^2 \quad (23)$$

نطرح المعادلة (20) من المعادلات (21) و (22) و (23) فنحصل على مجموعة المعادلات الخطية غير

المحددة التالية :

$$A X = B t + C \quad (24)$$

حيث :

$$A = \begin{bmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 & z_1 - z_2 \\ x_1 - x_3 & y_1 - y_3 & z_1 - z_3 \\ x_1 - x_4 & y_1 - y_4 & z_1 - z_4 \end{bmatrix}, \quad B = - \begin{bmatrix} R_{m1} - R_{m2} \\ R_{m1} - R_{m3} \\ R_{m1} - R_{m4} \end{bmatrix}$$

$$C = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \delta R_1^2 - \delta R_2^2 + R_{m2}^2 - R_{m1}^2 \\ \delta R_1^2 - \delta R_3^2 + R_{m3}^2 - R_{m1}^2 \\ \delta R_1^2 - \delta R_4^2 + R_{m4}^2 - R_{m1}^2 \end{bmatrix}, \quad t = \delta R$$

لا يمكن حل جملة المعادلات غير المحددة (المعادلة (24)) ، ولكن يمكن حساب إحداثيات الهدف بدلالة

الخطأ في قياس المسافة t على النحو التالي :

$$X = A^{-1} B t + A^{-1} C = D t + E \quad (25)$$

بتعويض المعادلة (25) في المعادلة (20) نحصل على :

$$F t^2 + 2G t + H = 0 \quad (26)$$

حيث :

$$F = (D^T D - 1), \quad G = (X_1 - E^T) D - R_{m1},$$

$$H = -(X_1 - E^T)(X^T - E) + R_{m1}^2$$

بحل المعادلة (26) وهي من الدرجة الثانية نحصل على :

$$t = \frac{-G \pm \sqrt{G^2 - FH}}{F} \quad (27)$$

3-3 تنفيذ خوارزمية تحديد موقع جهاز الإرسال

تم كتابة خوارزمية إيجاد موقع جهاز الإرسال ببرنامج MATLAB ، وعمل واجهة تخاطبية مع المستثمر؛

حيث يمكن إدخال معلومات الموقع يدوياً أو آلياً، إذا كان كل من GPS و FSM تتوفر فيه هذه الإمكانيات، يبين

الشكل (9) والشكل (10) واجهة التخاطب ، والقيم الناتجة التي تحدد موقع المرسل المحدد من معلومات دخل لأربعة

مواقع مختلفة .

تم تطبيق هذه الخوارزمية لمواقع مختلفة ومحددة للتأكد من عمل برنامج النمذجة والحساب بشكل صحيح، وكانت النتائج صحيحة بالمقارنة مع [11] ، وبالتالي يمكن استخدامها من أجل أي قيم مقاسة ، أثناء عملية النمذجة تم حساب شدة الحقول الناتجة عن المرسل الموجود في الموقع الزائف عند مواقع التحديد ليتم مقارنة هذه النتائج مع القيم المقاسة، وبالنتيجة معرفة مدى قرب الموقع الزائف من الموقع الحقيقي، الذي يحسبه الحاسوب الشخصي حسب خوارزمية المدى الزائف . ويمكن إظهار مواقع أخذ القياسات، ومكان الهدف. كما هو مبين بالشكل (11) .

The screenshot shows the 'EndTargetPosition' software interface. It contains several input fields for coordinates and altitudes, and two sections for field strength calculations.

Position	Lat. [deg.]	Lon. [deg.]	Alt. [m]
Position1	34	34.6	4000
Position2	34.1	34.5	4000
Position3	34.2	34.6	4000
Position4	34.3	34.6	4000
PseudoPosition	34.15	34.6	1000
TargetPosition	34.15	34.5999	1020.1649

Additional fields include:

- dR [m]: -1.6357e-010
- Calculated FieldStrength:
 - E1 [$\mu V / m$]: 650.3761
 - E2 [$\mu V / m$]: 984.0639
 - E3 [$\mu V / m$]: 1743.9372
 - E4 [$\mu V / m$]: 650.3607
- measured FieldStrength:
 - E1 [$\mu V / m$]: 650
 - E2 [$\mu V / m$]: 984
 - E3 [$\mu V / m$]: 1743
 - E4 [$\mu V / m$]: 650

Buttons: 'Calculat Field Strength' and 'Calculate TargetPosition'.

الشكل (9) نتائج حساب موقع المرسل المحدد من أربعة مواقع

حيث أعطيت قيم الحقول المقاسة نفس قيم الحقول المحسوبة مقربة لأقرب مكررو فولط للتأكد من عمل البرنامج فيجب أن يتطابق الموقع الزائف مع الموقع المحسوب، وهذا مبين في الشكل (9) وكذلك يتم حساب الخطأ المرتكب بقياس المسافة.

EndTargetPosition

Position	Lat. [deg.]	Lon. [deg.]	Alt. [m]
Position1	34	34.6	4000
Position2	34.1	34.5	4000
Position3	34.2	34.6	4000
Position4	34.3	34.6	4000
PseudoPosition	34.15	35	1000
TargetPosition	34.15	35.0005	910.9735

dR [m] = -4.013e-012

Field Strength	Calculated FieldStrength	measured FieldStrength
E1 [$\mu V / m$]	270.776	270.8
E2 [$\mu V / m$]	236.1952	236.2
E3 [$\mu V / m$]	293.9004	293.9
E4 [$\mu V / m$]	271.1707	271.2

الشكل (10) نتائج حساب موقع المرسل المحدد من أربعة مواقع

حيث أعطيت قيم الحقول المقاسة نفس قيم الحقول المحسوبة مقربة لأقرب جزء من عشرة من المكرو فولط للتأكد من عمل البرنامج فيجب أن يزداد التطابق بين الموقع الزائف والموقع المحسوب، وهذا مبين في الشكل (10) وكذلك يتم حساب الخطأ المرتكب بقياس المسافة ويكون اصغر من المرة السابقة.

النتائج والمناقشة

1- باستخدام تجهيزات اقتصادية متوفرة في الأسواق يمكن تحديد أجهزة الارسل المتعارف عليها والمطلوب

كشفاً وتحديد مواقعها.

2- من خلال استعمال برنامج حساب الموقع، الذي يجهز به الحاس وب الشخصي، وإدخال معلومات القياس

جزئياً أو كلياً - يدوياً أو ألياً - حسب الإمكانيات المتوفرة في الأجهزة المستعملة، والتأكد من عمله بشكل صحيح من خلال إظهار النتائج الوسيطة (شدة الحقل المحسوبة رياضياً) ، يمكن وضعه في العمل الطبيعي كما هو مبين

بالشكل (11) .

Position	Lat [deg.]	Lon [deg.]	Alt [m]
Position1	34	34.6	4000
Position2	34.1	34.5	4000
Position3	34.2	34.6	4000
Position4	34.3	34.6	4000

measured FieldStrength	Value
E1 [$\mu V / m$]	270.8
E2 [$\mu V / m$]	236.2
E3 [$\mu V / m$]	293.9
E4 [$\mu V / m$]	271.2

TargetPosition	Value
Lat [deg.]	34.15
Lon [deg.]	35.0005
Alt [m]	910.9735
dR [m]	-4.013e-012

الشكل (11)

3 - سهولة تركيب جهاز قياس شدة الحقل، الذي يملك هوائياً صغيراً بالمقارنة مع هوائيات تحديد الاتجاه المكونة من شبكة هوائيات كبيرة نسبياً على طائرة الإنقاذ.

4 - الحصول على الخطأ في المدى $dR[m]$ الناتج عن الخطأ في

قياس شدات الحقول عند موقع التحديد، كما هو واضح من الشكل (9) و (10) و (11)

الاستنتاجات والتوصيات :

نلاحظ من النتائج السابقة أنه يمكن تحديد مواقع الأجهزة المرسلّة باستخدام أجهزة رخيصة الثمن ومتوفرة

بأسواق ونوصي كذلك :

- يمكن التغلب على الخطأ في قياس المدى في أحد المواقع بإجراء قياس إضافي من موقع آخر.
- يمكن استخدام نفس الطريقة لتحديد موقع جهاز إرسال موجات فوق صوتية موجود ضمن المياه، باستخدام مقياس شدة الموجة فوق الصوتية تحت سطح الماء من أربعة مواقع مختلفة.

المراجع :

- [1] ADAMY, D. *Electronic warfare* 101,2008 .
- [2] ADAMY, D. *Electronic warfare* 102, 2009.
- [3] SCERRI, P. , GLINTON, R. , SCERRI, D. , and SYCARA, K. *Geo-location of RF Emitters by Many UAVs* , American Institute of Aeronautics and Astronautics , 2008 , p.13
- [4] FOWLER, M., *Analysis of Passive Emitter Location with Terrain Data*, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, AES-37 (April 2013), 495-507.
- [5] RAN REN MARK, L. FOWLER and N. EVA WU. *Finding Optimal Trajectory Points for TDOA/FDOA Geo-Location Sensors*, State University of New York at Binghamton , 2009 , pp: 6

[6] DOGANCAI, K. and HMAM, H. *Profile Likelihood Estimator for Passive Scan-Based Emitter Localization*, University of South Australia , 2007 IEEE , ICASSP 2007 PP: 1117-1121

[7] FLETCHER, F. , RISTIC, B. and DARKO, M. *Recursive Estimation of Emitter Location using TDOA Measurements from Two UAVs*, Australia , 2009 ,pp: 9

[8] CHOW, T. *Passive Emitter Location Using Digital Terrain Data*, State University of New York , 2011, pp:55

[9] KRACKE et al. *Providing GPS Pseudo Ranges*, USA , Patent Application Puplicaton,2007 , P.10

[10] H. REICHARDT , *Kleine Enzyklopädie Mathematik* Leipzig 1998 , 838 S.

[11] PETER, H., *Fundamental Linear Algebra*, 1996 .PP: 8

[12] BAO-YEN TSUI, J. *Fundamentals of GPS Receiver , A Software Approach* , second Edition 2015 John Wiley & Sons. Inc. PP:256.