

Designing Fuzzy Model for Applying the Linear Method for Enhancing the Edges of the Satellite Images

Omar M.A. Al-Dewajy

College of Computer Science and Mathematics

University of Mosul, Iraq

Received on: 23/04/2008

Accepted on: 03/09/2008

ABSTRACT

This research aims at designing Fuzzy model for applying the Linear Method for Enhancing the Edges of the Satellite Images. The researcher depended on some information about the satellite image like (brightness value, gray level, lines...etc) and connect them with the fuzzy logic for producing fuzzy system dealing with the contents of the satellite image.

The fuzzy system designed by scaling the two inputs (Brightness Value) and (Gray Level) and producing single output (Result B.V.), and it is built with (4 rules) that evaluate the performance of the system. The system was programmed by (Matlab 7) and works under WindowsXP.

Keywords: fuzzy system, fuzzy model, satellite image.

تصميم نموذج مضرب لتطبيق خوارزمية الطريقة الخطية في تحسين حافات

صور الاقمار الصناعية

عمر مؤيد عبد الله الديوه جي

كلية علوم الحاسبات والرياضيات

جامعة الموصل

تاريخ قبول البحث: 2008/09/03

تاريخ استلام البحث: 2008/04/23

الملخص

يهدف البحث الحالي الى تصميم نموذج مضرب لتطبيق الطريقة الخطية في تحسين حافات صور الاقمار الصناعية. اعتمد الباحث على بعض المعلومات عن الصورة الفضائية مثل (قيم التوهج، التدرجات الرمادية، الخطوط...الخ) وتم ربط هذه المصطلحات وما تعنيه للصورة الفضائية بالمنطق المضرب لانتاج نظام مضرب يتعامل مع محتويات الصورة الفضائية.

تم تصميم النظام المضرب وذلك بتحديد ادخالين الى النظام هما قيمة التوهج (Brightness Value) والتدرجات الرمادية (Gray Levels) واخراج واحد هو قيمة التوهج الناتجة (Result B.V.)، وقد تم بناء النظام بأربع قواعد تعمل على تقييم اداء النظام. وتمت برمجة النظام باستخدام لغة (Matlab 7) تحت بيئة عمل WindowsXP.
الكلمات المفتاحية: نظام مضرب، نموذج مضرب، صورة فضائية.

1. مقدمة عامة:

توفر الاقمار الصناعية اثناء دورانها حول الارض معلومات مهمة عن سطح الكرة الارضية وما يحيط بها من غلاف جوي، وتعتبر هذه المعلومات اداة مهمة لاستكشاف سطح الكرة الارضية وما تحتويه من بحار ومحيطات وثروات، وبما انه ظهرت الحاجة الى استكشاف سطح الارض فقد تم التعامل مع كثير من التطبيقات بصورة ادق واشمل واوضح، منها مثلاً في مجال الزراعة وعلوم الارض ومراقبة البيئة، ولهذا تم الاتجاه الى الاقمار الصناعية التي تعطي صوراً ادق واوضح يمكن من خلالها التوصل الى نتائج في مختلف التطبيقات.

اكثر انواع الاقمار الصناعية شهرة هي سلسلة الاقمار الصناعية (LANDSAT) التي تعتبر البداية الناجحة للاقمار الصناعية المستخدمة لغرض الاستشعار عن بعد (Remote Sensing). اول اقمار هذه السلسلة هي (LANDSAT-1) الذي اطلق في عام 1972، ثم توالى اطلاق اقمار اخرى في هذه السلسلة التي سميت بـ(LANDSAT2,3,4,5,6and7)، (LANDSAT-7) اطلق في نهاية التسعينات.[1]

تم اعتماد فكرة ربط نموذج المنطق المضرب مع بيانات صور الاقمار الصناعية وذلك لتحديد طبيعة الصورة الفضائية.

2. اهداف البحث:

يهدف البحث الحالي الى:

- 1- تصميم نموذج مضرب يعمل على توضيح معالم الصورة الفضائية بما تحتويه من خطوط سوداء (black lines) او خطوط بيضاء (white lines) او تدرجات اللون الرمادي التي تمثل المساحات الواسعة في الصورة الفضائية.
- 2- امكانية معالجة بيانات الصورة الفضائية بعد تحليلها وتقسيمها الى مجموعة من المناطق ذات المساحات الواسعة التي تمثل الصحاري والبحار والتي تكون متقاربة القيم في الصورة الفضائية ومناطق اخرى مزدحمة والتي تمثل المدن او غير ذلك.

3. تحسين صور الاقمار الصناعية:

يمكن تعريف عملية التحسين التي تجري على صور الاقمار الصناعية بما تحتويه من حافات او مساحات واسعة التي تمثل الصحاري او البحار والمحيطات الى غير ذلك، على انها العملية التي تستخدم لتطبيق مجموعة من التحويلات (transformations) على الصورة

المدخلة (input satellite image) للحصول على صورة تتمتع بوضوح اكثر وتفاصيل ادق وتشويش اقل (less noisy) والتي تعتبر ناتج الصورة المدخلة (output satellite image). [3]

4. الماسحات الضوئية (Scanners):

هي اجهزة تقوم بتسجيل الانعكاسات الناتجة من مساحة معينة من الارض وتقوم بجمع بيانات مهمة عن سطح الكرة الارضية وما تحتويه من مصادر وثروات والتي يستخدمها العلماء استخداماً واسعاً، تاخذ اشارات المسح (scanning signals) شكل نبضات كهربائية مختلفة ومتتابعة يتم ارسالها الى الكمبيوتر الذي يكون قادرا على بناء صورة الصفحة بكل ماتحتويه من مناطق بيضاء ورمادية وسوداء بشكل صحيح، كما ان هنالك العديد من الماسحات التي ظهرت مع ظهور الاقمار الصناعية منها (TM , MSS , RBV)، الماسحات (TM , MSS) تستخدم في القمر الصناعي (LANDSAT)، إذ ان الماسح (Thematic Mapper) TM والذي قدم في عام 1982 يقوم بتسجيل الانعكاسات ويقوم بجمع الخيالات متعددة الاطيف، اما الماسح MSS (Multi Spectral Scanner) فيقوم بجمع بيانات مهمة عن مصادر الارض. [4]

5. نموذج المنطق المضرب:

هو تقنية تتمتع بقدرة عالية في ايجاد الحلول للمشاكل المختلفة بما في ذلك الاكاديمية منها او التطبيقية وتجد عشرات الالوف من تطبيقات المنطق المضرب الداخلة ضمن عمليات السيطرة والمعلوماتية، ويوفر المنطق المضرب طريقة بسيطة جدا للحصول على استنتاجات محددة من معلومات غير دقيقة وغامضة ومهمة، اي ان المنطق المضرب يحاكي حالات اتخاذ القرارات لدى الانسان مقرونة بالمحاولات لاجاد حلول دقيقة من بيانات غير دقيقة او تقريبية اي تتضمن عملية تشخيص للنظام التي يقصد بها عملية تحديد نموذج رياضي لديناميكية النظام باستخدام البيانات المشاهدة للمدخلات والمخرجات. [7]

ويهدف المنطق المضرب الذي اكتشفه في الستينات العالم لطفي زاده الى توفير الدوال والاحكام الرياضية التي تتيح ايضا طرائق حساب القيم الوسطى بين الحقيقة المطلقة التي تراوح بين (0 و1). [8]

ويدخل المنطق المضرب في مجالات عديدة منها الذكاء الاصطناعي، والهندسة، وبحوث العمليات، والإنسان الآلي، وفي تمييز الأنماط، وقد استخدمت هذه المجالات المنطق المضرب لما يتمتع به من مرونة فضلاً عن قدرته على التعامل مع الأنظمة المعقدة. [8]

6. مميزات المنطق المضبيب:

ازداد الاهتمام بالمنطق المضبيب في السنوات الاخيرة مما ادى الى قبوله واستخدامه في الحقول الاكاديمية والتطبيقية على حد سواء وذلك بسبب مميزاته مقارنة مع الطرائق الاخرى، ومن هذه المميزات :

1- منهج التصميم بديل من ناحية البساطة والسرعة وذلك من خلال:

1-1- خفض حلقات تطوير التصميم.

2-1- تبسيط تعقيدات التصميم.

3-1- تطوير زمن التسويق.

2- حلول بديلة افضل لنظم التحكم وذلك من خلال :

1-2- تطوير أداء نظام التحكم.

2-2- تبسيط عمليات التنفيذ.

3-2- خفض كلفة الاجزاء المادية. [2]

يمكن تحديد خصائص او مميزات اي تصميم من خلال تحليل المجال الذي يهمننا في المسألة إلى مناطق مضببة وذلك يتم إما عن طريق استخدام نموذج رياضي مبسط في كل منطقة أو عن طريق إنشاء ربط مباشر بين المناطق الخاصة في مجال مدخلات النموذج بالمناطق المقابلة في مجال المخرجات، وبهذه الطريقة نلاحظ أن المستخدم يمكنه أن يكسب بعض الفهم للسلوك الذي يسلكه النموذج. [10]

7. الدالة العضوية :

هي دالة رياضية تعرف درجة عضوية كل عنصر في المجموعة المضببة . فاذا كانت A هي مجموعة مضببة في المجموعة الشاملة X ، فان دالة عضوية العنصر x في X للمجموعة A يرمز لها $\mu_A(x)$ حيث ان $\mu_A(x)$ تمثل دالة عضوية العنصر x الى المجموعة المضببة A وهي دالة رياضية تحقق الشرط الاتي [9] :-

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1$$

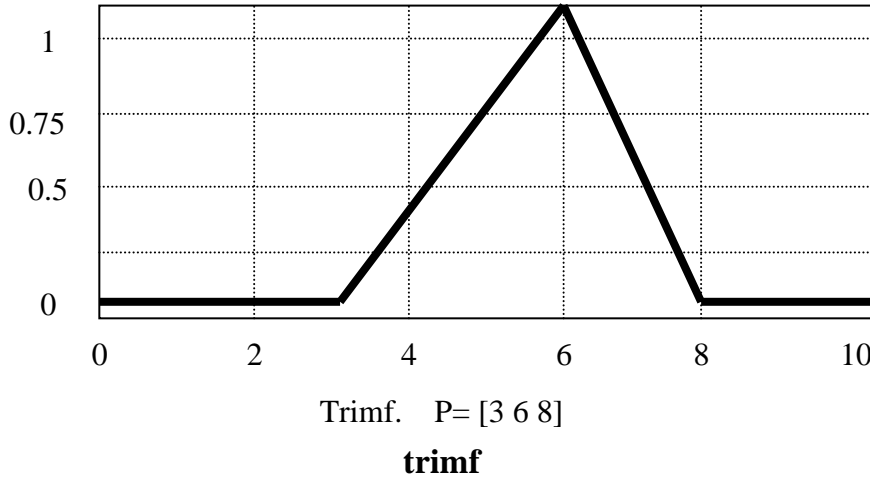
كما أن هنالك مجموعة من الأسئلة يجب أن يتم التعامل معها عند استخدام الدوال العضوية وهي:

1- ماذا تعني الدرجات (grades) في الدوال العضوية؟

2- كيف يتم قياسها؟

3- ما العمليات أو التطبيقات المطلوب تحديدها للدالة العضوية؟

إن أبسط أنواع دوال العضوية يمكن تكوينه باستخدام الخطوط المستقيمة ومن هذه الدوال البسيطة الدالة العضوية المثلثة (Triangular membership function) التي يطلق عليها (Trimf). ورسم هذه الدالة موضح في الشكل الأتي [5]:



الشكل (1) دالة عضوية من نوع Triangular

8. مبدأ العمل :

إن هيكلية النموذج المناسبة يتم تحديدها باستخدام معرفة مسبقة عن النظام ومقدار الخطأ الموجود في النظام كما يتم اختيار هيكلية النموذج من بين مجموعة من النماذج المرشحة أو القريبة في صفاتها من النموذج المحدد ثم يتم فحص هذه الصفات، إذا كانت مطابقة أو قريبة من صفات النموذج المحدد عندها يتم الاعتماد على هذا النموذج، أما إذا كانت الصفات غير ذي فائدة فيجب إجراء تغيير في هيكلية النموذج للوصول الى الهيكل القريب او المطابق لهيكل النظام المحدد [6].

مبدأ العمل تصميم نموذج مضرب يعمل على تحديد شدة الاضاءة (Brightness Value BV) للنقاط الضوئية في الصورة الفضائية، حيث تم الاعتماد على خوارزمية الطريقة الخطية (Linear Method) في تطبيق عملية تحسين الحافات للصورة الفضائية التي تعتبر من احدى الطرائق البسيطة لاستخلاص الحافات من صور الاستشعار عن بعد والتي يطلق عليها (فرق التنفيذ running difference)، الصورة الاصلية تزحف نقطة ضوئية واحدة (pixel) ومن ثم يتم فحص الفرق بين الصورة الاصلية والصورة الناتجة من عملية الترحيف، فاذا لم يكن هنالك فرق بين الصورتين (no difference) فلايحدث اي تأثير، اما اذا كان هنالك فرق

سالِب بين الصورتين فيتم تمثيلها بقيم معتمة (dark value) ومن ثم تولد خطوط سوداء (black lines) ، اما اذا كان هنالك فرق موجب بين الصورتين فيتم تمثيلها بقيم مضيئة اي ان النقاط الضوئية في الصورة الرقمية تكون (on pixel)، ويتم توليد خطوط بيضاء (white lines)، وهكذا توليد خطوط بيضاء وسوداء يكون حافات لكل جزء على سطح الارض.

تم ربط نموذج المنطق المضرب مع خوارزمية الطريقة الخطية لتحسين حافات صور الاقمار الصناعية وذلك بتكوين ادخالين (2 inputs) هما:

اولاً: (Bvalue) الذي يتكون من ثلاث دوال عضوية (3 Membership functions) هي:

1 - nodiff -: التي تمثل حالة عدم وجود فرق بين الصورة الفضائية الاصلية والصورة المزحفة.

2 - negative -: التي تمثل الفرق السالب بين الصورتين ومن ثم يتم توليد قيم معتمة.

3 - positive -: التي تمثل الفرق الموجب بين الصورتين ومن ثم يتم توليد قيم مضيئة.

ثانياً: (Graylevel) والذي يمثل تدرجات اللون الرمادي وذلك لان الصورة الفضائية تمثل على شكل رموز (ارقام) والتي تمثل بدورها تدرجات اللون الرمادي، إذ ان الخطوط البيضاء والسوداء تمثل حافات الاجسام الموجودة على الصورة الفضائية اما المساحات الواسعة المعروضة على الصورة فتكون رمادية اللون.

وقد تم الاعتماد على دالتين عضويتين (2 Membership functions) هما:

1 - highgray -: والتي تمثل تدرجاً عالياً للون الرمادي، إذ ان سطح الارض يكون ذا انعكاسية عالية.

2 - lowgray -: والتي تمثل تدرجاً واطناً للون الرمادي، إذ ان سطح الارض يكون ذا انعكاسية واطئة.

اما الاخراج الذي هو ResultBV، فيعتمد على القيمة الاولية لشدة الاضاءة BV والتدرجات الرمادية للصورة الفضائية، ويتكون الاخراج من ثلاث دوال عضوية (3 Membership functions) وهي:

1 - whitelines -: التي تمثل الانتقال من العتمة الى الاضاءة.

2 - gray -: التي تمثل المساحات الواسعة من الصورة الفضائية.

3 - blacklines -: التي تمثل الانتقال من الاضاءة الى العتمة.

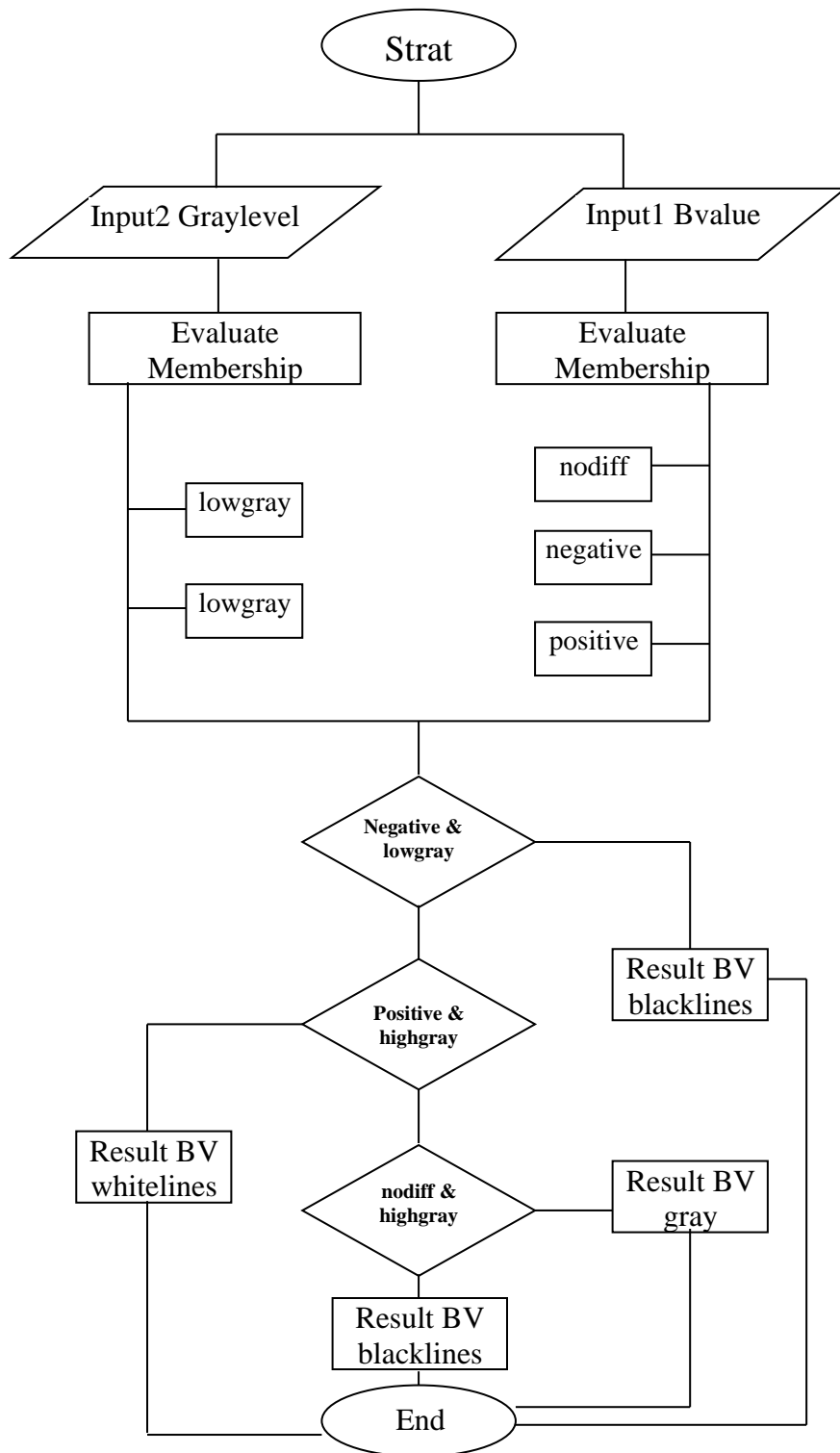
9. القواعد المستخدمة في تقييم النظام:

لقد تم استخدام مجموعة من القواعد (Rules) والتي يتم من خلالها ربط المدخلات بالمرجات للنظام ومن ثم تحديد النتائج، وهذه القواعد موضحة بالجدول الآتي:-

Rule No.	Rule Description
1-	If Bvalue is negative and Graylevel is lowgray Then ResultBV is blacklines
2-	If Bvalue is positive and Graylevel is highgray Then ResultBV is whitelines
3-	If Bvalue is nodiff and Graylevel is highgary Then ResultBV is gray
4-	If Bvalue is nodiff and Graylevel is lowgray Then ResultBV is balcklines

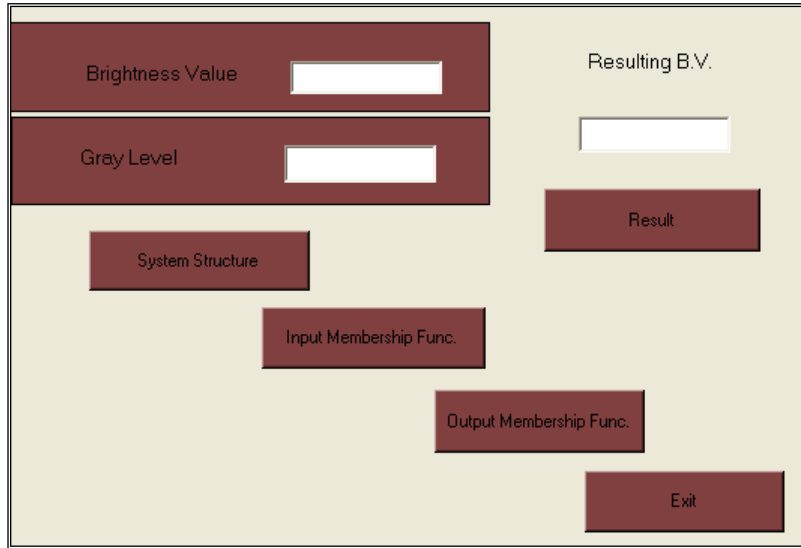
الجدول (1) يوضح القواعد (Rules) المستخدمة في النظام

ويمكن توضيح عمل النظام من خلال المخطط (Block Diagram) الآتي:



10. مكونات النظام:

يتألف النظام من تصميم مجموعة من الواجهات الخاصة بدوال العضوية والواجهة الرئيسية للنظام والتي تسمى بواجهة نظام الاستدلال المضرب (Fuzzy Inference System) وكما موضحة بالشكل الآتي:



الشكل (2) يوضح الواجهة الرئيسية للنموذج المصمم

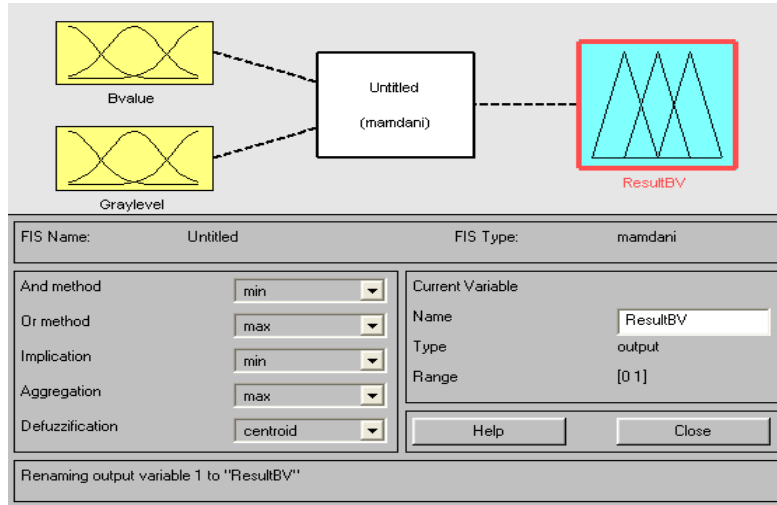
نلاحظ من الشكل اعلاه الواجهة الرئيسية للنظام والتي تتكون من:

10.1 حقل الادخال الاول (Brightness Value) الذي يتم فيه ادخال القيمة الهشة (crisp input) لشدة الاضاءة.

10.2 حقل الادخال الثاني (Gray Level) الذي يتم فيه ادخال القيمة الهشة (crisp input) لتدرجات اللون الرمادي.

10.3 الاختيار الثالث (Result) الذي يقوم بعرض النتيجة النهائية لعملية التقييم (evaluation) ومن ثم يتم عرض النتيجة النهائية التي تمثل قيمة شدة الاضاءة ومن ثم يمكن تحديد هل ان هذه القيمة تمثل خطأ اسود (black line) ام خطأ ابيض (white line) ام احد تدرجات اللون الرمادي.

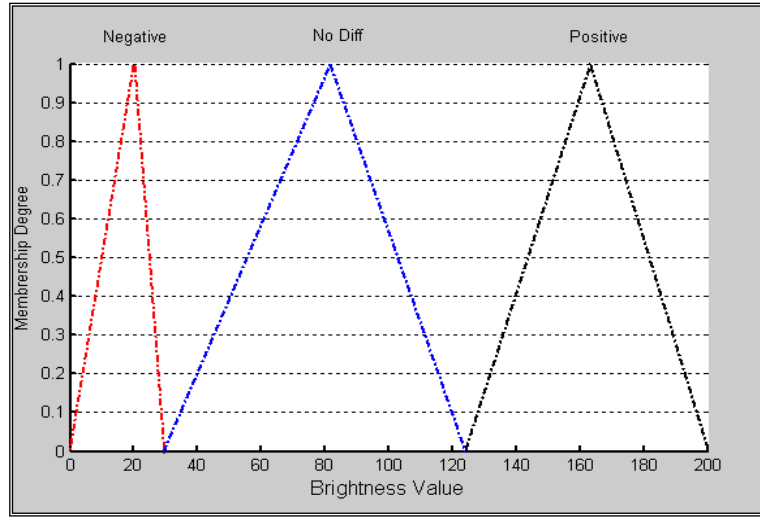
10.4 System Structure: عند النقر على هذا الامر يتم عرض هيكلية نظام الاستدلال المضرب (FIS) للنظام المصمم وكما موضح بالشكل الآتي:



الشكل (3) يوضح هيكلية النظام

نلاحظ من الشكل اعلاه ان نموذج النظام الحالي يتكون من ادخالين (2 inputs) واخراج واحد (single output) تربطهما مجموعة من القوانين (rules)، يتم من خلال هذه القوانين تحديد شدة الاضاءة الناتجة (Resulting B.V.) من الفرق بين الصورة الاصلية والصورة المزحفة ومن ثم تحديد الخطوط البيضاء او السوداء التي تمثل الحافات الموجودة في الصورة الفضائية والتدرجات الرمادية (gray levels) التي تمثل المساحات الواسعة الموجودة على الصورة.

10.5 Input Membership Functions: هذا الامر يعمل على رسم دوال العضوية للادخالين (Brightness Value) و (Gray Level) وكما موضح بالشكل الآتي:



الشكل (4) دوال العضوية للادخال الاول (Brightness Value)

تم الاعتماد على تقسيم المدى لدوال العضوية الموضحة بالشكل اعلاه من خلال خوارزمية الطريقة الخطية والتي هي من احدى ابسط الطرائق لاستخلاص الحافات من صور الاقمار الصناعية التي تسمى بفرق التنفيذ (running difference)، حيث ان الصورة الفضائية الاصلية تزحف نقطة مضيئة واحدة (pixel) ومن ثم يتم فحص الفرق بين الصورتين، ويتم حساب قيمة التوهج الناتجة (Resulting Brightness Value) فاذا كان هنالك فرق سالب بين الصورتين فيتم تعويض احدى القيم المحصورة بين (0-30)، اما اذا لم يكن هنالك فرق بين الصورتين فيتم تعويض القيم المحصورة بين (30-127)، واذا كان هنالك فرق موجب بين الصورتين فيتم تعويض القيم المحصورة بين (127-200). وكما موضح بالخطوات الآتية:

$$BV_{i,j} = BV_{i,j} - B_{v_{i-1,j}}$$

$$\text{If } BV_{i,j} = -1$$

Then resulting $BV_{i,j} = x$ where $0 \leq x \leq 30$

$$\text{If } BV_{i,j} = 0$$

Then resulting $BV_{i,j} = x$ where $31 \leq x \leq 127$

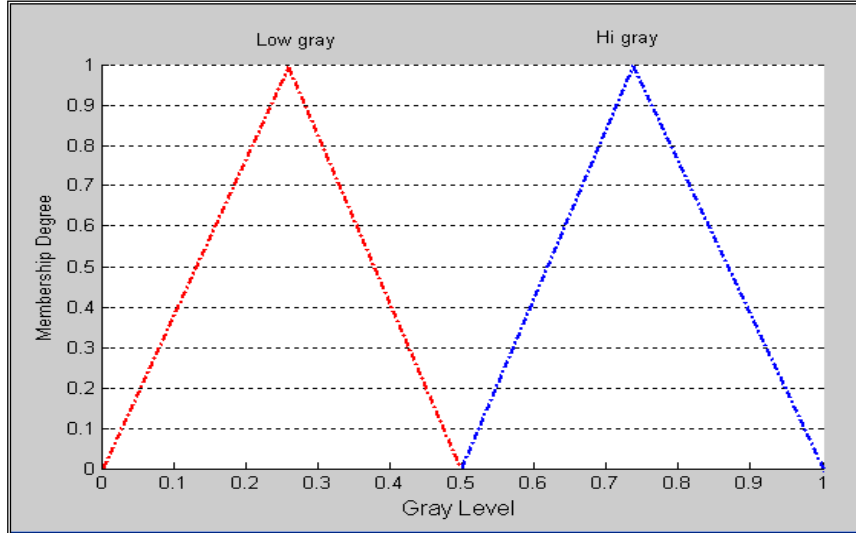
$$\text{If } BV_{i,j} = 1$$

Then resulting $BV_{i,j} = x$ where $128 \leq x \leq 200$

حيث ان:

$BV_{i,j}$: تمثل ناتج الفرق من الصورة الاصلية والصورة المزحفة.

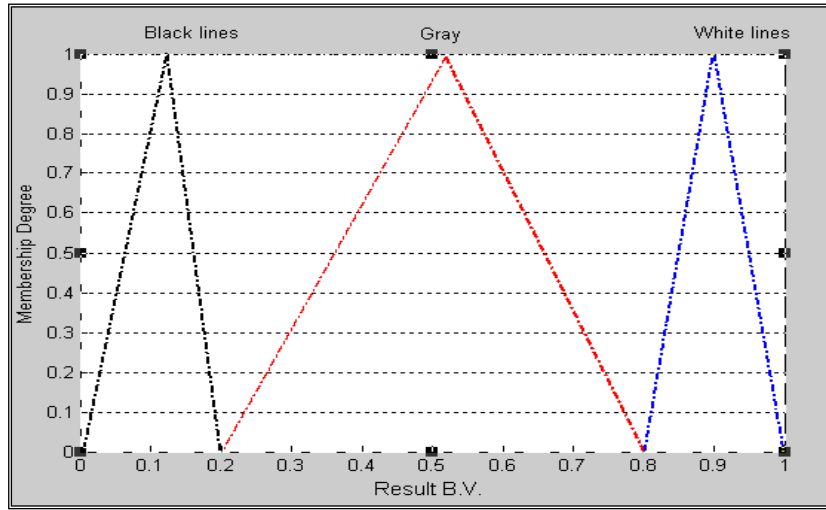
ResultingBVi,j: تمثل قيمة التوهج الناتجة التي سوف يتم تحديدها للصورة الناتجة بعد عملية الترحيف.



الشكل (5) دوال العضوية للادخال الثاني (Gray Level)

نلاحظ من الشكل السابق دوال العضوية للادخال الثاني الذي يتكون من دالتين عضويتين الاولى (Low gray) التي تقع ضمن المدى (0-0.5)، والثانية (Hi gray) التي تقع ضمن المدى (0.5-1).

10.6 Output Membership Function: يتم من خلال هذا الامر رسم دوال العضوية للاخراج (output) الذي يمثل قيمة التوهج الناتجة من الفرق بين الصورة الفضائية الاصلية والصورة المزخفة وكما موضح بالشكل الآتي:

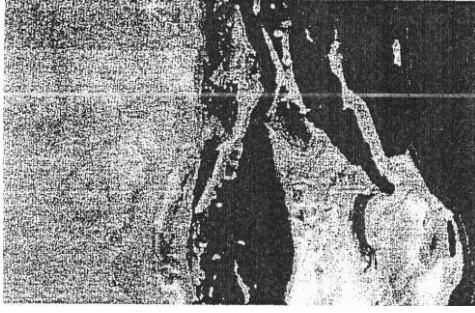


الشكل (6) دوال العضوية للاخراج (ResultBV)

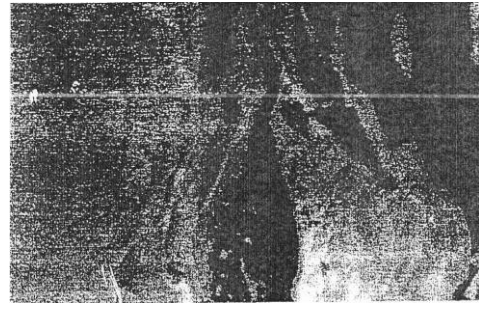
نلاحظ من الشكل السابق ان الاخراج (ResultBV) يتكون من 3 دوال عضوية (3 Membership Functions) وهي (black lines) التي تكون محصورة بين (0-0.2) والتي تمثل قيم التوهج الواطئة (Low Brightness Value) التي بدورها تولد خطوطاً سوداء، اما الدالة الثانية وهي (Gray) التي تكون محصورة بين (0.2-0.8) فتمثل التدرجات الرمادية للصورة الفضائية اي المساحات الواسعة للصورة الفضائية كالصحاري والبحار والمحيطات، واخيراً الدالة الثالثة (White lines) التي تكون محصورة بين (0.8-1) وتمثل قيم التوهج العالية (H_i Brightness Value) التي بدورها تولد خطوطاً بيضاء. ان التنقل بين الخطوط البيضاء والسوداء والتدرجات الرمادية يولد الحافات في الصورة الفضائية ومن ثم يتم تقليل التشويش (noise) وزيادة تفاصيل الصورة الفضائية.

10.7 Exit: عند اختيار هذا الأمر يتم الخروج من النظام خروجاً كاملاً.

ويمكن توضيح معالم بعض الصور الفضائية واجراء التحسين عليها من خلال الصور الآتية:



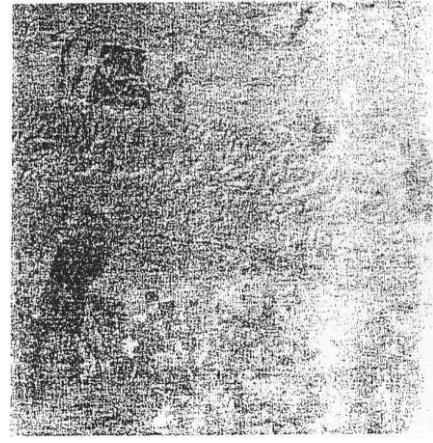
صورة فضائية لمنطقة البحر الأحمر بعد
اجراء عملية التحسين



صورة فضائية لمنطقة البحر الأحمر قبل
اجراء عملية التحسين



صورة فضائية لمنطقة جبل شيخ إبراهيم
بعد اجراء عملية التحسين



صورة فضائية لمنطقة جبل شيخ إبراهيم
قبل اجراء عملية التحسين

11. الاستنتاجات:

لقد أسفر التطبيق الفعلي للنظام عن الحقائق الآتية :

- 1- يعد اختيار نموذج المنطق المضرب اختيارا موضوعيا ومنطقيا في عملية التصميم وذلك لما يتمتع به من مجموعة من الميزات منها السهولة في التصميم ودقة ووضوح وسرعة فائقة في تقييم الاداء .
- 2- أظهرت المعالجة الحاسوبية لمدخلات النظام من خلال سلسلة القواعد المعتمدة لكل متغير من متغيراتها ، إمكانية استثمار النموذج في تفسير معالم الصورة الفضائية وتحديد الحافات والتدرجات الرمادية والى غير ذلك من المعلومات.
- 3- النظام المصمم وفر خاصية التعامل مع الصورة الفضائية على انها مجموعة من القيم الرقمية ومن ثم يمكن اجراء اي تغيير على هذه القيم والتي تؤدي الى اجراء تغيير في معالم الصورة.
- 4- هنالك الكثير من البرمجيات الحاسوبية الحديثة التي من خلالها يمكننا استغلال الحاسوب بطريقة افضل لمعالجة العديد من المسائل المعقدة في الحياة الواقعية، التي يصعب معالجتها من دون مثل هذه البرمجيات، ومن هذه البرمجيات الحاسوبية الجاهزة هي لغة MATLAB والتي يمكن من خلالها تصميم نماذج مضربة.

12. التوصيات:

- 1- ضرورة اجراء دراسات اخرى باتجاهات مختلفة، وفي العديد من التطبيقات في الحياة الواقعية التي تتعامل مع مجموعة من المتغيرات التي تكون على شكل مدخلات ومخرجات والتي تمثل بالتالي هيكل النظام بشكل عام.
- 2- تطوير النموذج المضرب الحالي الذي استخدم خوارزمية الطريقة الخطية في تحسين حافات صور الاقمار الصناعية عن طريق تصميم نموذج مضرب لعملية الالتفاف الرياضي او استخدام خوارزمية الطريقة اللاخطية في تحسين حافات الصورة الفضائية....الخ من الخوارزميات.
- 3- يمكن بناء نظام ذكي لتطبيق خوارزميات تحسين حافات صور الاقمار الصناعية كأن تكون Fuzzy-Neural او Neural-Genetic.

المصادر

- [1] شيريل بليرين، (2007) "الصور التي يلتقطها القمر الصناعي landsat للكرة الأرضية"، منشور،
<http://usinfo.state.gov/xarchives/display.html?p=washfile-arabic&y=2007&m=April&x=20070411122037liameruoy0.5984766>
- [2] الدباغ، سفيان سالم (2003): "تصميم نظام حاسوبي لتقدير قوة مقاومة انضغاط الأسمنت البورتلندي"، رسالة ماجستير، كلية علوم الحاسبات والرياضيات، جامعة الموصل.
- [3] Konar A., (2000), "Artificial Intelligence and Soft Computing", Behavioral and Cognitive Modeling of the Human Brain, dept. Electronics and Tele-Communication Engineering, University of Jadypur, Calcutta, India, CRC Press, Inc., PP.47.
<http://homepages.cae.edu/ece533/project/enhancement.html>
- [4] Hellmann M.,(2001)"Satellite Image Enhancement",project,
<http://www.arabien.net/arabiaall/2000/12.html>
- [5] Turksen B.,Bilgic T.,(1995),"Measurment of Membership finctions,Theoretical and Impirical work", Fuzzy Sets and Systems,
<http://www.ie.boun.edu.tr/~taner/publications/papers/membership.pdf>
- [6] Becerra V.M. (1995): "Advanced system identification", lecture1,
<http://www.personal.rdg.ac.uk/~shs99vmb/notes/asi/Lecture1.pdf>
- [7] Astrom & Wittenmark (1997) " Computer Controlled Systems-Theory and Design", Third Edition, Pentice Hall, Inc., London.
- [8] Rao, B.V. (1998): "C++ Neural Network and Fuzzy Logic", 2nd edition, MIS Press.
- [9] Zimmermann, H.J.,(1987),"Fuzzy set design making & Expert systems, Boston, Kluwer .
- [10] Mathworks, The mathworks Inc. (2002): "MATLAB The Language of Technical Computing", Version 6.5, Release 13, June 18.