

Imaging of optical sparse aperture systems and its evaluation Experimentally

Dayong Wang1a, Ji Han a, Xiyang Fu b, Hongfeng Guo b, Shiquan Tao a

نظام التصوير بفتحة التشتت البصرية والقياسات العملية لها

الخلاصة

يمكن تصميم نظام فتحة التشتت البصرية للحصول على صور دقيقة جدا لأجسام فلكية. وهي عبارة عن مصفوفة خاصة تولف من العديد من انظمة التصوير الصغيرة. في هذا البحث العلمي، نعرض التجهيز للتجربة الاساسية للنظام البصري لفتحة التشتت. وقد تم تصوير اجسام معقدة وممتدة. وقد تم قياس الدقة التحليلية للصورة الخارجة مباشرة من نظام الفتحة المشتتة بواسطة دالة النقطة المنتشرة point spread التحليلية للصورة الخارجة مباشرة من نظام الفتحة المشتتة بواسطة دالة النقطة المنتشرة point spread التحليلية للصورة الخارجة مباشرة من نظام الفتحة المشتتة بواسطة دالة النقطة المنتشرة to التحليلية الصورة الخارجة مباشرة من نظام الفتحة المشتتة بواسطة دالة النقطة المنتشرة to معيار والالتعيين افضل المتغيرات، ولتقييم اداء اللوغاريثم. وضحت النتائج ان ترتيب مصفوفة Tri-Arm من ضمن نماذج الترتيبات المستخدمة الثلاثة تعطي اعلى دقة تحليلية واكبر قيمة معامل ارتباط بعد اعادة استرجاع الصورة. وطبقا لذلك، وبالاعتماد على البيانات العملية، فان الامكانية موضحة بان انظمة فتحة التشتت البصري يمكن ان تعطي نفس الدقة التحليلية تقريبا ونفس جودة الصورة مماثلة للنظام الممتلئ.

1. المقدمة INTRODUCTION

مع تطور الرحلات الارضية والفضائية، فان البحث على دقة تحليلية عالية للتلسكوبات سيصبح امرا طارئا ومطلوبا. بالأخص في التطبيقات الفضائية حيث ان كلا من حجم وكتلة التلسكوب يضع قيودا على اطلاق المركبات الفضائية كذلك التكلفة المادية الباهظة ستصبح فائقة وتمنع استخدام التلسكوبات بفتحات اكبر من 1m. ولان تكلفة الانظمة البصرية تزداد بشكل مطرد مع زيادة مربع قطر التلسكوب، والمرايا مثل المستخدمة في الانظمة الارضية التي يصل قطرها إلى 10m والتلسكوب الفضاء هابيل 2.4m وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات جديدة (1-مثل المستخدمة في الانظمة الارضية التي يصل قطرها إلى 10m والتلسكوب الفضاء هابيل 1.4 وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات جديدة (1-وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات بديدة (1-وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات مدي وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود نبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات بديدة (1-وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات بديدة (1-ي وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات جديدة (1-ي وصل إلى حافة الامكانيات المالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات جديدة (1-ي وعد الرؤية فيه المور مالمالية المتاحة له، فان جهود تبذل لكسر هذا القيد باستخدام تقنيات جديدة (1-ي ي مدى الرؤية، عنه ما محالي في مدى الرؤية في نظام تصوير من فتحات تصوير مالرؤية، عندما تكون المخارج لكل عنصر من نظام تصوير الفتحة الصغيرة متداخل وفي نفس الطور عند مستوى تكون الصورة، كل المعلومات تحت تردد مكاني واحد لجسم في الفضاء يمكن ان يمر من النظام، وبالتالي انظام تصوير الفتحة الصغيرة يستطيع ان يحقق نفس الدقة التحليلية تقريبا وجودة الصورة كما في الانظمة الممتلئة من جهة نقل المعلومات.

تجرى ابحاث كثيرة عن انظمة تصوير فتحة التشتت البصرية في العديد من الدول لان مثل هذه الانظمة لا توفر فقط نفس الدقة التحليلية وجودة الصورة كما في الانظمة المغلقة المكافئة ولكن ايضا تقلل بشكل كبير الحجم والكتلة وكذلك التكلفة لهذه الانظمة (1-13). ولكن، من وجهة نظر تطبيقية، فان ايجاد افضل كبير الحجم والكتلة وكذلك التكلفة لهذه الانظمة (1-13). ولكن، من وجهة نظر تطبيقية، فان ايجاد افضل كافية. في هذه الورقة الفتحات والقياسات الكمية حول كفاءة التصوير بالاعتماد على القياسات العملية ليست كافية. في هذه الورقة البحثية، التجهيزات العملية بنيت كما في انظمة فتحة التشنت البصرية الاساسية. تم تصوير اجسام معقدة وممندة. و عملية الاسترجاع الرقمية للصور ظهرت بزيغ بصري من انظمة فتحة التشنت البصري من انظمة فتحة التشتت البصري من انظمة فتحة التشتت النقطية PSFs) point spread functions. كوال كانتيت النقطية معامل الارتباط بين الصورتين مع وجود كاشف OCD وباستخدام فلتر وينر Weiner filter. كنك معامل الارتباط بين الصورتين مع وجود كاشف OCD وباستخدام فلتر وينر النتشتت النقطية Roeit الارتباط بين الصورتين النظام التصوير بنات المعاية اللو غاريئم وجودة الصورة. في البداية في الجزء 2، بواسطة النموذج المكافئ مع وجود كاشف OCD وباستخدام فلتر وينر Weiner filter. كنك معامل الارتباط بين الصورتين النظام التصوير بفتحد التشت البصري، ودوال تعديل الانتقال Roeit الارتباط بين الصورتين النظام التصوير بفتحد كليف معامل الارتباط بين الصورتين النظام التصوير بفتحد التشت البصري، ودوال تعديل الانتقال Roeit معامل الارتباط بين الصورتين النظام التصوير بفتحد التشت البصري، ودوال تعديل الانتواع الثلاثة لنماذج ترتيب المصفوفة النظام التصوير بفتحد النشري ويز ومعامل الارتباط موضح ومشروح. وفي الجزء 3، تم وصف التجيزات العملية، وقياس دوال الـ PSFs ودوال الـ MTM الموضح مي وفي الحنورة الماني في العزيم وينور وليفيز تمامل ورزيب المحفين المعانية النموذج المكافئ وينر ومعامل الارتباط موضح ومشروح. وفي الجزء 3، موصف الماستخدم. كذلك، اللو غاريثميات لفلت وينر ومعامل الارتباط موضح ومشروح. وفي الجزء 3، موصف التحمييزات العملية، وقياس دوال الـ PSFs ودوال الـ MTM المقابلة له موضحة ايضا. دقة تحليل المورة المانيزم المريحة خاصة بقياس القدرة التحبيم مومن ومشرح. مامروح ويفير موصف ورمسروح ويفي حالي الموزة الم



Tri- Arm بين انواع نماذج الترتيبات الثلاثة الاخرى تعطي اعلى دقة تحليلية واكبر قيمة معامل ارتباط بعد عملية اعادة التكوين للصورة. بناء على ذلك، وبالاعتماد على البيانات العملية، فان انظمة التصوير بفتحة التشتت البصري تستطيع ان تحقق نفس الدقة التحليلية وجودة الصورة كما في الانظمة المغلقة. واخيرا، نعرض الخلاصة والاستنتاج.

2. THEORY OF OPTICAL SPARSE APERTURE IMAGING SYSTEMS

2. نظرية انظمة تصوير فتحة التشتت البصرى

2.1 Equivalent model of optical sparse aperture imaging system

1.2 النموذج المكافئ لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري

افترض ان نظام التصوير بفتحة التشتت الضوئي هو فضاء ثابت space-invariant ونظام تصوير غير متزامن، فان الناتج من نظام التصوير يمكن ان يكتب في الصورة التالية (14)

$$I_{i}(x_{i}, y_{i}) = I_{g}(x_{i}, y_{i})^{*} PSF(x_{i}, y_{i})$$
(1)

حيث

$$PSF(x_{i}, y_{i}) = \left| F\{P(x, y)\} \right|^{2},$$
(2)

"*" لاحظ ان معامل الالتفاف convolution operand و(*) هي عبارة عن معامل تحويل فوريير $I_i(x_i,y_i)$ هي توزيع الشدة للصورة الناتجة مباشرة من نظام فتحت التشتت، $I_g(x_i,y_i)$ هي الصورة المثالية للجسم المتوقع بواسطة البصريات الهندسية المستخدمة، $PSF(x_i,y_i)$ هي دالة الانتشار النقطية للنظام، و P(x,y) هي دالة النظام. يمكن كتابة المعادلة (1) بدلالة التردد على النحو التالي،

$$\widetilde{I}_i(f_x, f_y) = \widetilde{I}_g(f_x, f_y) \bullet OTF(f_x, f_y) , \qquad (3)$$

 $OTF(f_{x},f_{y})$.(1). حيث ان الدوال في الحالة اعلاه هي تحويلات فورييه للدوال المشابهة في المعادلة (1). (OTF(f_{x},f_{y})) تعرف باسم دالة التحويل البصري OTF (f_{x},f_{y}) للنظام، والتي يمكن ان

تحسب من خلالها دالة pupil. واذا كان النظام له حدود الحيود diffraction-limited، فان OTF تكون حقيقة وغير سالبة، وهي نفسها دالة MTF.

دالة pupil لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري يمكن ان تكتب على النحو التالي:

$$P(x,y) = P_0(x,y) * \sum_{n=1}^N \delta(x - \overline{x}_n, y - \overline{y}_n), \qquad (4)$$

حيث ان (\bar{x}_n, \bar{y}_n) هي مركز الاحداثيات لـ n_{th} لنظام الفتحة الفرعية الصغيرة، ($\bar{x}_n, \bar{y}_n)$ هي دالة pupil للفتحة الفرعية للنظام. ولكي نسمح لمركبة التردد ان تمر عبر النظام، فان دالة MTF عادة تتطلب ان تكون قيمة WTF يجب ان تكون العلي ان تكون قيمة WTF يجب ان تكون اعلى من بعض القيم الحرجة لتلبي المتطلبات الخاصة للنسبة بين الاشارة الى الضجيج (SNR) لصورة بجودة عالية. ومن الضروري ان يتم ترتيب المواضع النسبية لتلك الفتحات الفرعية لنظام التصوير، وضعية ل

2.2 Array configuration of optical sparse aperture imaging systems

2.2 ترتيب المصفوفة لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري

الترتيب في شكل مصفوفة لنظام التصوير بفتحة التشتيت البصري تحدد شكل دالة pupil، ومن ثم شكل منحنى توزيع دالة MTF للنظام. هناك ثلاثة انواع من ترتيبات المصفوفة النموذجية لأنظمة التصوير بفتحة التشتت، وهي Annulus، و6-Golay، و Tri-Arm، كما هو موضح في الشكل 1. افترض ان كلهم يمتلك 6 فتحات فرعية صغيرة، وقد قمنا بالحساب العددي لدالة PSF و MTF لكل نوع من مصفوفة فتحة التشتت باستخدام المعادلتين (3) و(4)، حيث ان قطر الانظمة المكافئة لها هو no مصفوفة المكافئة لها هو no مصفوفة فتحة التشتت باستخدام المعادلتين (3) و(4)، حيث ان قطر الانظمة المكافئة لها هو nn، مصفوفة فتحة التشتت باستخدام المعادلتين (3) و(4)، حيث ان قطر الانظمة المخلفة المكافئة لها هو nn، مصفوفة فتحة التشتيت تحدد كقطر كل الفتحة للنظام المعلق المكافئ. الشكل 2 و 3 يوضحان مخططات دوال الـ PSF و RTF ليوتيب النموذجي لأنظمة المغلق المكافئ. الشكل 2 و 3 يوضحان مخططات دوال الـ PSF و RTF ليوتيب النموذجي لأنظمة و عنه فتحة التشتيت بمعامل ملء F يساوي 30%. ومن مخططات دالة الـ MTF و RTF المعاملين (%) و30% ومن مخططات دالة الـ PSF و RTF المعاملين (%) و30% ومن مخططات دوال الـ PSF و 75% و 20% و 30% و 20% و 20





الشكل 2 ثلاثة انواع من ترتيبات المصفوفة النموذجية في نظام الفتحة المشتتة.



(a) Annulus (b) Golay-6 (c) Tri-Arm (d) Equivalent Filled

الشكل 2 مخططات PSF للأنواع الثلاثة للترتيب النموذجي لأنظمة الفتحة المشتتة بـ %F=30 والمكافئ لها في الانظمة المغلقة.



(d) Equivalent Filled

(b) Golay-6

(a) Annulus

الشكل 3 مخططات MTF للأنواع الثلاثة للترتيب النموذجي لأنظمة الفتحة المشتتة ب %F=30 الشكل 3 مخططات

(c) Tri-Arm

واضح ان منحنيات الـ MTF للترتيبات الثلاثة النموذجية لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري تكون في اغلب الاحيان اكثر حدة من الانظمة المغلقة المكافئة بزيادة التردد المكاني. في الترتيب في الوسط وبتردد عالي، فان كل منحنيات MTF تكون اكثر نعومة باهتزازات طفيفة. بالأخص، قيم الـ MTF لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري يمكن ان تكون اكثر من قيم الـ MTF للأنظمة المغلقة المكافئة معذ بعض التردد عالي، فان كل منحنيات MTF تكون اكثر نعومة باهتزازات طفيفة. بالأخص، قيم الـ MTF لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري يمكن ان تكون اكبر من قيم الـ MTF للأنظمة المغلقة المكافئة معذ بعض الترددات العالية لان الـ MTF هي normalized function. وطبقا لـ MTF، فان نتائج عند بعض الترددات العالية لان الـ MTF هي normalized function وطبقا لـ MTF، فان نتائج الصورة المباشرة عن نظام فتحة التشتيت يكون لها اقل تباين من الصورة الناتجة عن الانظمة المغلقة. المعلقة المكافئة بمعنى اخر، الصورة الناتجة مباشرة من نظام فتحة التشتت يصاحبها زيغ بصري. كذلك، Tri-Arm بمعنى اخر، الصورة الناتجة مباشرة من نظام فتحة التشتت يصاحبها زيغ بصري. كذلك، Tri-Arm الترتيبات تزداد بزيادة معامل الملء. ولكن، دالة الـ MTF للترتيب 6-Job والترتيب معري. كذلك، Tri-Arm بمعنى اخر، الصورة الناتجة مباشرة من نظام فتحة التشتت يصاحبها زيغ بصري. كذلك، Tri-Arm بمعنى اخر، مكان على نطاق الترددات العالية. دالة TMT للترتيب 6-Job والترتيب Tri-Arm بعن عنداد والمعا والترددات العالية. دالة TM الترتيب 6-Job والترتيب Arm لكل العن ينه مكل مكان على نطاق الترددات باستخدام معامل ملء 20% القيمة الصغرية توجد تحت تردد القطع معز درد القطع فير مرغوب فيه. ولهذا من الدالة TTi-Arm فرعية المال الملء الصغير يعني وجود فتحات فرعية القل ووزن عند كل مكان على نطاق الترددات باستخدام معامل ملء 20% القيمة الصغرية توجد تحت تردد القطع مردان أوران فرد المال ولكن مندان معام ملمام الملء الصغير يعني وجود فتحات فرعية اقل ووزن الحف، وهذا مغضل. ولكن منحنى TTi-Arm بنقط صغير يعني وجود فتحات فرعية القل ووزن عند كل مكان على نطاق الترددات باستخدام معامل ملء 20% مالمن ملء 20% مكان على ماحلوا ولكن منحنى Annu الملء الصغير يعني وجود فتحات فرعية الى ووزن مالمن ولكن مالمن ولكن مالم الملء تردد القطع غير مرغوب فيه. ولهنا مالمن ولخه، ولما مالم المن وليمن ولكن م



الشكل 3 منحنيات MTF للترتيبات الثلاثة لنظام فتحة التشتيت والنظام المغلق المكافئ لهم في اتجاه اعلى تردد قطع (وحدة التردد هي lp/mm)

3.2 تكوين الصورة وتقييمها Image restoration and its evaluation

دالة pupil لنظام التصوير بفتحة التشتيت البصري مغلقة جزئيا بالنسبة للفتحة المغلقة المكافئة، ولهذا فان الصورة الناتجة مباشرة من النظام يصاحبها زيغ بصري. ولكي يتم اصلاح جودة الصورة، فانه من الضروري عمل استرجاع للصورة بعد ذلك. وعادة يتم ذلك في مجال التردد. لفلتر وينر فان دالة التحويل تعطى على النحو التالى:

$$W(f_{x}, f_{y}) = \frac{OTF^{*}(f_{x}, f_{y})}{\left|OTF(f_{x}, f_{y})\right|^{2} + \left|\frac{N(f_{x}, f_{y})}{\tilde{I}_{g}(f_{x}, f_{y})}\right|^{2}}$$
(5)

حيث $OTF(f_x,f_y)$ هي القرين المركب لـ $OTF(f_x,f_y)$ و $OTF(f_x,f_y)$ هي طيف التشويش. ولنظام التصوير الفضائي بالاستشعار عن بعد، فان الناتج النهائي يمكن ان يحتوي على العديد من العوامل في عملية استرجاع الصورة، حيث ان بعض هذه العوامل يكون عشوائي وغير مؤكد. وبالتالي فانه من الضروري تطوير تقييم كمي لتحديد جودة الصورة التي تم اعادة تكوينها. ما عدا الدقة التحليلية فإنه يفترض ان تستخدم معامل الارتباط كمعيار عالمي لتقييم جودة الصورة واداء اللوغاريثميات. يعرف معامل الارتباط على النوعال الرتباط على النوعالي الارتباط على الارتباط كمعيار عالمي التقييم جودة الصورة واداء اللوغاريثميات.

$$c = \frac{E[(f(x,y) - E[f(x,y)])(\hat{f}(x,y) - E[\hat{f}(x,y)])]}{\sqrt{E[f^{2}(x,y)] - (E[f(x,y)])^{2}}\sqrt{E[\hat{f}^{2}(x,y)] - (E[\hat{f}(x,y)])^{2}}} ,$$
(6)

حيث []E تشير إلى التوقع الرياضي، (f(x,y) هي الصورة المتوقعة، و (f(x,y) هي الصورة المسترجعة. و (f(x,y) هي الصورة المسترجعة سوف تكون متشابهة المسترجعة. عندما يقترب معامل الارتباط من 1، فانه يعني ان الصورة المسترجعة سوف تكون متشابهة اكثر للصورة المتوقعة. وهذا يمكن ان يستخدم لتحديد المتغيرات الافضل، ولتقييم اداء اللوغاريتمات وترتيب المصفوفة لنظام التصوير بفتحة التشتيت البصري بالمقارنة مع معاملات الارتباط بين الصور المختلفة المسترجعة والصورة المتوقعة.



3. EXPERIMENTS OF OPTICAL SPARSE APERTURE IMAGING

3. التجارب العملية لنظام التصوير بفتحة التشتيت البصرية

Experiment setup التجهيزات العملية 1.3



الشكل 5 التجربة المستخدمة لنظام التصوير بفتحة التشتت البصري

2.3 اجراء التجربة Experimental process

هناك ثلاثة خطوات اجريت خلال التجربة. في البداية، تم قياس دالة PSF للنظام. وهذا يعني ان فتحة صغيرة بقطر يصل إلى 10µm سوف يستبدل الهدف الممتد في مستوى الجسم كمصدر نقطي. وبعد ذلك الصورة للجسم النقطي يمكن ان تجمع من خلال نظام فتحة التشتت البصري او النظام المغلق المكافئ باستخدام كاشف الـ CCD. دقة وحساسية الكشف للـ CCD عادة لا تكون مرضية بسبب انخفاض طاقة ضوء مصباح الزئبق. ولذلك سوف يستخدم الليزر كمصدر اضاءة بدلا من مصباح الزئبق، والطول الموجي لليزر هو CCD. دقة وحساسية الكشف للـ PSF عادة لا تكون مرضية بسبب انخفاض طاقة الموجي لليزر هو S32nm. ومن الضروري ان يتم تصحيح دالة PSF والتي تقاس مباشرة بسبب التشويش المتزامن. وبعد اجراء عملية تحويل فوربيه، يمكن تحديد دالة الـ MTF للنظام. وقياس دالة الـ PSF لأنظمة فتحة التشتت الضوئي بوضع اقنعة مختلفة في التجربة، بالترتيبات المختلفة ومعامل الملء وغير ذلك. وبعد ذلك يمكن الحصول على دالة MTF المقابلة. ثانيا، سوف نقوم بتصوير صورة الجسم وغير ذلك. وبعد ذلك يمكن الحصول على دالة MTF المقابلة. ثانيا، سوف نقوم بتصوير صورة الجسم وغير ذلك. وبعد ذلك يمكن الحصول على دالة MTF المقابلة. ثانيا، سوف نقوم بتصوير صورة الجسم الممتد مباشرة للأنظمة المختلفة. في هذا التجربة استخدم مصدر ضوء الزئبق كمصدر اضاءة. وضعت وغير ذلك. وبعد ذلك يمكن الحصول على دالة MTF المقابلة. ثانيا، سوف نقوم بتصوير صورة الجسم المتد مباشرة للأنظمة المختلفة. في هذا التجربة استخدم مصدر ضوء الزئبق كمصدر اضاءة. وضعت وفير ذلك. وبعد ذلك يمكن الحصول على دالة MTF المقابلة. ثانيا، سوف نقوم بتصوير صارة. وضعت وفي النهاية النائية المائسة المختلفة في التجربة استخدم مصدر ضوء الزئبق كمصدر اضاءة. وضعت وفي النهاية، الصور المسترجعة يمكن ان تحدد باستخدام دالة MTF المقاسة وفلتر وينر.

3.3 النتائج العملية Experimental results

بالاعتماد على النتائج العملية، فان دوال الـ PSF المقابلة لدوال الـ MTF المكافئ للأنظمة المغلقة وانظمة فتحة التشتت البصري موضحتين على التوالي في الشكلين 6 و7 عند معامل مل، 30%. ومنحنيات الـ MTF موضحة في الشكل 8 بمعامل مل، 20% و 30%. وبمقارنة النتائج للحسابات العددية والنتائج العملية، فان الانتظام في شكل التوزيع لدوال الـPSF و الـ MTF متشابهة. نتيجة لتأثير بعض العوامل، على سبيل المثال، الاجهزة العملية والبيئة المحيطة، وهناك اختلاف طفيف موجود في التفاصيل. وبكلمة واحدة، نتائج التجارب متطابقة مع نتائج التوقعات النظرية بشكل جيد.

الصورة المتكونة من خلال نظام الفتحة المغلق المكافئ موضح في الشكل 9. والصور المباشرة الناتجة عن نظام فتحة التشتت البصري عند معامل ملء 30% صاحبها زيغ بصري، كما هو موضح في الشكل 10 (c)-(a) بالنسبة الى ترتيب Annulus وGolay-6 وTri-Arm على التوالي. ومن الضروري استخدام فلتر وينر لاسترجاع الصورة. وهنا في الشكل 10 (c)-(f) يوضح الصور المسترجعة والتي وضعت تحت كل صورة ناتجة مباشرة. تبين النتائج ان جودة الصورة تتحسن بعد عملية الاسترجاع. الخط الاول في المجموعة الخامس لا تزال قابلة للتحليل من نتيجة التصوير بالنظام الممتلئ المكافئ، واتساع الخط المقابل هو 15.6µ لأنظمة فتحة التشتيت البصري، الخط السادس في المجموعة الرابعة يمكن ان يميز عن نتيجة التصوير بترتيب مصفوفة Tri-Arm، واتساع الخط المقابل هو 17.5µ وهو قريب جدا للدقة التحليلية لنظام مغلق مكافئ. ولكي نجري تقييم كمي لجودة صورة الهدف المعقد الممتد، فان معامل الارتباط بين نتائج الصورة في النظام الممتلئ المكافئ ونتائج الصورة لنظام فتحة التشتت الضوئي تم حسابها كما هو موضح في الجدول 1. نستطيع ان نرى من معاملات الارتباط الناتجة عن الصور المسترجعة اعلى بكثير من الصور المباشرة. ويعتبر ترتيب مصفوفة Tri-Arm الافضل بين انواع الترتيبات الثلاثة من ناحية الدقة التحليلية واعلى قيمة معامل ارتباط بعد عملية اعادة الاسترجاع. وانظمة فتحة التشتيت البصرية الدوذجية تعطي تقريبا نفس القدرة التحليلية وجودة الصورة كما في الاسترجاع. ومنا يتحد الدقة التحليلية من ناحية الموزة الموزة التحليلية واعلى قيمة معامل الرتباط بعد عملية اعادة



الشكل 6. رسم دوال PSF المقاسة لأنواع الترتيبات الثلاثة لأنظمة فتحة التشتيت البصري بمعامل مل . 30% و المكافئ لها في الانظمة المغلقة.



الشكل 7. رسم دوال MTF المقاسة لأنواع الترتيبات الثلاثة لأنظمة فتحة التشتيت البصري بمعامل مل . 30% و المكافئ لها في الانظمة المغلقة، الناتجة عن تجارب PSFs على التوالي



الشكل 8 منحنيات MTF الناتجة من التجربة للترتيبات الثلاثة لنظام فتحة التشتيت والنظام المغلق المكافئ لهم في اتجاه اعلى تردد قطع (وحدة التردد هي lp/mm)



الشكل 9 نتيجة الصورة الناتج عن النظام المغلق المكافئ



الشكل 10 نتائج الصور للأنواع الثلاثة لترتيبات المصفوفة في انظمة فتحة التشتيت البصري (a) (b) (b) الشكل 10 نتائج الصور المسترجعة المكافئة باستخدام فلتر وينر (b) (c) (c).

الجدول 1 معاملات الارتباط بين الصور لأنظمة فتحة التشتيت البصري والصور الناتجة عن النظام المغلق المكافئ عند معامل ملء مختلف.

Image	F=20%	F=30%
Direct Image	0.9032	0.9295
Restored Image	0.9408	0.9574
Color: 6 Direct Image	0.8958	0.9233
Restored Image	0.9325	0.9461
Direct Image	0.9217	0.9600
Restored Image	0.9670	0.9770
	Image Direct Image Restored Image Direct Image Restored Image Restored Image	ImageF=20%Direct Image0.9032Restored Image0.9408Direct Image0.8958Restored Image0.9325Direct Image0.9217Restored Image0.9670

الخلاصة CONCLUSIONS

بناء على التحليلات النظرية، جهزت تجربة عملية لنظام التصوير بفتحة التشتت البصرية. تم الحصول على صورة لجسم معقد وممتد. اعادة تكوين الصورة لخارج المباشر من انظمة فتحة التشتت البصرية اجري عن طريق قياس دوال PSFs وباستخدام فلتر وينر. معامل الارتباط وضع كمعيار لتعيين المتغيرات الافضل، لتقدير فعالية اللو غاريتمات. وضحت النتائج ان ترتيب مصفوفة Tri-Arm الافضل بين النماذج الثلاثة التي استخدمت فقد اعطت دقة تحليل عالية وقيمة معامل ارتباط كبيرة. وبناء على البيانات العملية، تم التحقق من امكانية الحصول بواسطة انظمة التصوير بفتحة التشتت البصري على نفس الدقة التحليلية تقريبا وعلى جودة صورة تكافئ انظمة التصوير المغلقة، والتي تتطابق مع نتائج المحاكاة العددية. في التجارب استخدما قناع بفتحة لعمل فتحة فر عية في نفس المستوى. وفي المستقبل القريب، سوف نحاول ان ندخل تأثيرات الاخطاء في الطور لجودة الصورة المتكونة بواسطة نظام فتحة التشتت البصري بواسطة فتحات فر عية يتم التحكم بها بشكل مستقل.

شكر ACKLNOWLEDEMENTS

مع التقدير والامتنان للدعم المالي المقدم من قبل المؤسسة الوطنية للعلوم الطبيعية في الصين (NSFC) (عقد رقم 60577029). الباحثون ايضا يتقدمون بالشكر للدعم المالي المقدم من قبل مشروع تمويل الموارد الأكاديمية للتنمية البشرية في مؤسسات التعليم العالي تحت ولاية لبلدية بكين (PHRIHLB). وعندما انجز هذا البحث، كان وكان Dayong Wang يعمل مع في مؤسسة التقنية البصرية في جامعة شتوتغارت بألمانيا.

تمت الترجمة في المركز العلمي للترجمة

www.trgma.com

29-9-2010

REFERENCES



1. Soon-Jo Chung, David W. Miller, Olivier L. de Weck. "ARGOS testbed: study of multidisciplinary challenges of future spaceborne interferometric arrays", *Opt. Eng.* 43(9), 2156-2167 (2004).

2. R. L. Kendrick, Jean-Noel Aubrun, Ray Bell, et al., "Wide-field Fizeau imaging telescope: experimental results", *Appl. Opt.* 45(18), 4235-4240 (2006).

3. Erin E. Sabatke, James H. Burge, and Philip Hinz ,"Optical design of interferometric telescopes with wide fields of view", *Appl. Opt.* 45(31), 8026-8035 (2006).

4. Rick Kendrick, Eric H. Smith et al., "Multiple-aperture imaging spectrometer: computer simulation and experimental validation", *IEEE Proceedings of the 33rd Applied Imagery Pattern Recognition Workshop* (AIPR'04), 3-9 (2004).

5. Joe Pitman, Alan Duncan and David Stubbs et al., "Remote sensing space science enabled by the multiple instrument distributed aperture sensor (MIDAS) concept", *Proc. SPIE*. 5555, 301-310 (2004).

6. Robert D. Fiete, Theodore A. Tantalo et al., "Image quality of sparse-aperture designs for remote sensing", *Opt. Eng.* 41(8), 1957-1969 (2002).

7. Hedser van Brug, Bastiaan Oostdijck, "Homothetic mapping as means to obtain a wide field of view: the Delft testbed interferometer", *Proc. SPIE*. 5491, 1598-1606 (2004).

8. Peter Giesen, Bas Ouwerkerk, "Mechanical setup for optical aperture synthesis for wide field imaging", *Proc. SPIE*. 5528, 361-371 (2004).

9. Iouri Tcherniavski, Mojtaba Kahrizi, "Optimization of the optical sparse array configuration", *Opt. Eng.* 44 (10), 103201-1~10 (2005).

10. H.F.A.Tschunko, P.J.Sheehan, "Aperture configuration and imaging performance", *Appl. Opt.* 10(6), 1432-1438 (1971).

11. Quanying Wu, Lin Qian, "Imaging recovering for sparse-aperture system", *Proc. SPIE*. 5624, 478-486 (2005).

12. Dayong Wang, Xiyang Fu et al., "Analysis of field-of-view of optical aperture synthesis imaging interferometry", *Proc. SPIE*. 5636, 40-47 (2005).

13. Dayong Wang, Jun Chang and Hancheng Liu et al., "Wide-field imaging design and image restoration with optical sparse-aperture system", *Proc. SPIE.* 6149, 61493B-1~61493B-7 (2006).

14. Joseph W. Goodman, *Introduction to Fourier Optics*, McGraw-Hill Companies, Inc., New York, Second Edition, 1996.

15. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. *Digital Image Processing*. Prentice Hall, Second Edition, 2003.