الهولوغرامات الحاسوبية المولدة بدون تصوير فوتوغرافي

رائد كامل جمال*، وجدان ثامر فزع**

*** قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بغداد، بغداد– العراق.**

**** قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة النهرين، بغداد– العراق.**

الخلاصة

في هذا البحث تم إنتاج هولوغرامات تحويل فورير ذات كفاءة عالية، باستخدام الحاسوب الشخصي، طابعة ليزريه، ورق الشفاف وبدون استخدام التصوير الفوتوغرافي التقليدي. وتم استخدام برنامج الماتلاب للحصول على الهولوغرام. أجريت عملية إعادة البناء البصري والحاسوبي وأوضحت النتائج ان هذه الطريقة جيدة لتوضيحها على الباحثين والطلبة في مختبرات البصريات.

مقدمة

الهولوغرامات المولدة حاسوبياً (Computer Generated Hologram) تحاول إيجاد ترميز ثنائي (Binary Encoding) مناسب لدالة النفوذ (المعقدة) (Complex Transmission Function) للهولوغرام. عدة حلول اقترحت لهذه المسألة [1-5]. هذه الحلول حاولت تحسين عمليات إعادة البناء (Reconstruction Process)، لكنها كانت تفتقر الى أجهزة لعرض او رسم الهولوغرام وتصويرها فوتوغرافياً. في هذا البحث تم تسجيل 128×128 عنصر هولوغرافي في الانج المربع الواحد على ورق شفاف (Over head) بأستعمال الطابعة الليزرية (Laser Printer) ذات الكفاءة العالية والكلفة القليلة بزمن لا يتجاوز بضع ثواني. عملية إعادة البناء نلاحظ إن الصور تكون ذات كفاء عالية ونتائجها ممتازة. هذا النوع من الهولوغرامات سوف يكمل جميع التقنيات الهولوغرامية البصرية والواجب توضيحها للدارسين والطلبة.

على الرغم من إن هناك أنواع عديدة من الهولوغرامات نستطيع إنتاجها بطرق مختلفة الا إن هولوغرامات تحويل فورير (Fourier Transform Hologram) هو الذي سوف يتم عرضه في هذا البحث. هذا النوع من الهولوغرامات سوف يسجل معلومات السعة (Amplitude) والطور (Phase) لتحويل فورير للجسم.

عند وضع الهولوغرام أمام العدسة ويضاء بموجة مستوية من الضوء، فان نمط حيود فرانهوفر (Fraunhofer Diffraction Pattern) الذي يظهر في المستوي البؤري للعدسة هو تحويل فورير لدالة النفوذ للهولوغرام [6]. وبسبب إن تحويل فورير للجسم هو دالة عقدية بشكل عام، لذا فان هولوغرام تحويل فورير تحتاج الى تعديل كل من السعة والطور للضوء النافذ.

المسألة الرئيسية للهولوغرامات المولدة حاسوبياً هي كيفية محاكاة (ترميز) تحويل فورير عن طريق الترميز الثنائي، حيث في هذا البحث تم استعمال طريقة البكسل (Pixels) الشفاف والمعتم استعمال الطابعة الليزرية. الترميز الثنائي سوف يعمل بشكل أفضل إذا الهولوغرام كان له دالة نفوذ موجبة وحقيقية.

وصف الصورة الناتجة بصيغة البكسل عند مواقع (r_j) مع السعة الحقيقية $a(r_j)$ واطوار (ϕ_j)، الهولوغرام المثالي سيكون له دالة نفوذ معقدة كالأتي[7]:

$$A(r') = \sum_j a(r_j)\, e^{2\pi i r'.r_j / f\lambda + i\phi_j} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث r_j هو موضع البكسل j بالنسبة للجسم، r' هو موضع البكسل بالنسبة للهولوغرام. f هو البعد البؤري (Focal Length) للعدسات المركبة المستخدمة لإعادة البناء، λ هو الطول الموجي لليزر (Laser Wavelentgh) المستخدم، ϕ_j هو الطور العشوائي. وهذا بوضوح لا يمكن تمثيله بشكل جيد بالترميز الثنائي. والطريقة الأبسط لتغيرها الى دالة حقيقية موجبة هو اخذ الجزء الحقيقي من معادلة (1) وإضافة ثابت له. حيث إن عملية تحويل هذه الدالة الى دالة زوجية حقيقية تؤدي الى

إنتاج صور متناظرة (Symmetric Images) وهذا مكافئ الى تناظر الجسم. أيضاً إضافة ثابت لتحويل فورير يضيف نقطة مركزية مضيئة (Central Bright Spot)لعملية إعادة البناء. وهذا فان الهولوغرام ذات القيم الحقيقية يمكن إن يعيد بناء نمط الشدة للجسم المأخوذ بفضل إضافة هذا الثابت وهذا يعني إن الهولوغرام يظهر لنا (الصور المتناظرة ونقطة مركزية المضيئة).

الأطوار ϕ_j هي اعتباطية، حيث يلاحظ فقط الشدة وليس طور الصور المعادة بنائها. هذه الاعتباطية تلعب دور مهم في تحديد نوعية الصورة للهولوغرام المولدة حاسوبياً. إن عملية تحويل الهولوغرام الحقيقي الموجب الى النظام الثنائي تنجز بسهولة أكثر باختيار حد العتبة (t) (Threshold Value) وعمل البكسل المعتم (Dark Pixel) عند (r') اذا ما تحقق الشرط $A(r') < t$ ، ويكون البكسل شفاف (Transparent Pixel) في حالة المعاكسة، أي إذا كانت $A(r') > t$.

إن الترميز الثنائي للهولوغرام لا يميز قيم الـ $A(r')$ التي هي اكبر من حد العتبة (t)من تلك التي هي قريباً جداً من حد العتبة، لهذا فان من المهم تعديل عمق الوغرام (Modefied Depth of the Hologram) ليكون أكثراً انتظاماً، هذا يعني إن تحويل فورير لإعادة البناء تُنشر بالتساوي بقدر الإمكان على البكسلات المختلفة الكثيرة في مستوي الهولوغرام، هذا يتم باختيار الأطوار ϕ_j بشكل عشوائي (Random Phase).

الجزء العملي

المنظومة التي تم العمل بها موضحة في الشكل (1) والتي تتكون من:

1 –جهاز حاسوب، وتنفيذ برنامج الماتلاب (Matlab) لغرض إنتاج الهولوغرام.

2 –طابعة ليزرية ذات مواصفات (300dpi).

3 –نظام بصري يتكون من ليزر هيليوم– نيون بقدرة (5mW) وعدسة عينية (Microscope Object) 20X وعدسة ذات بعد بؤري (Focal Length) يساوي(6″). هذه العدستين تبئر حزمة الليزر على بعد (4m) عن الهولوغرام. يتم وضع مرآة خلف الهولوغرام، مع مرآة لاحتواء الصورة الى الخلف بالقرب من الهولوغرام، المسافة البعيدة تجعل الجسم المعاد بناؤه قابلة للنظر بسهولة من قبل المشاهد بدون تكبير أضافي.

لرسم الهولوغرام اسُتخدم برنامج الماتلاب وبرنامج عرض الصور (Paint)، وان أبعاد مصفوفة الجسم المراد عمل هولوغرام له يكون مساوي الى $R \times R$ بكسل، إن قيمة R تمثل قدرة التحليل النظرية للهولوغرام. الشكل (2) يبين كيفية قراءة ملف الجسم المراد عمل له هولوغرام وكيفية رسم الهولوغرام.

حيث أن السعة النافذة للهولوغرام تساوي[7]:

$$A(r') = \sum_j a_j \cos(2\pi r'.r_j / f\lambda + \phi_j) \quad \text{..... (2)}$$

الترميز الثنائي للهولوغرام (سعة النفوذ $A(r')$) يصنع بعدد من العينات مقدارها $4R \times 4R$ بكسل على الهولوغرام وتحدد القيم العظمى والصغرى لدالة سعة النفوذ $A(r')$. ان النقاط التي تحقق الشرط التالي[7]:

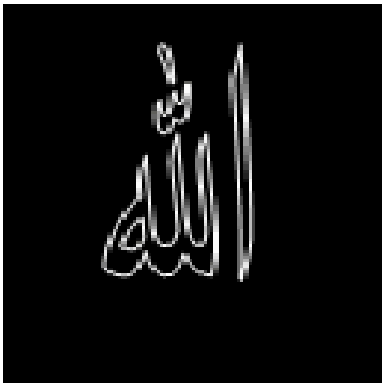
$$\frac{(A(r') - (A\min)}{A\max - A\min} > t \quad \text{..... (3)}$$

ان قيم $A(r')$ تساوي واحد إذا لم يحقق الشرط أعلاه وتساوي صفر اذا تحقق الشرط. وان قيمة (t) تؤخذ هنا مساوية الى (0.6) وهي تعين بالتجربة والخطأ (By Trail and Error).

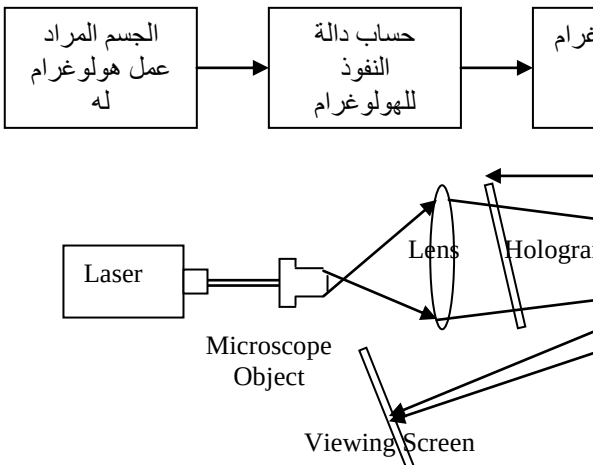
إن عملية حساب تحويل فورير يستغرق وقت مقداره دقيقتين بواسطة برنامج الماتلاب ويتم خزن الهولوغرام ومن ثم طباعته بواسطة الطابعة الليزرية وباستخدام ورق شفاف وذات قدرة تحليل جيدة نسبياً. تثبت هذه الشفافية على حامل لإجراء عملية إعادة البناء. يبين الشكل (3) صورة الجسم المراد عمل هولوغرام له والذي يتمثل بكلمة لفظ الجلالة (الله).

```
a=imread('c:\i.bmp');
for x=1:128;
   for y=1:128;
         for c=1:128;
            for d=1:128;
p(c,d)=p(c,d)+cos(pi*(c*(1-x/75)+ d*y/75));
            end
         end
      end
  end
mx=max(max(p));
mn=min(min(p));
r=mx-mn;
for x=1:128;
   for y=1:128;
      if (p(x,y)-mn)/r>0.6
         p(x,y)=1;
      else
         p(x,y)=0;
    end
   end
end
```

شكل (2): البرنامج الحاسوبي لحساب سعة النافذة للهولوغرام.



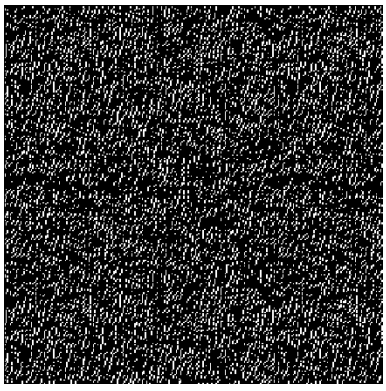
شكل (3): صورة الجسم مراد عمل هولوغرام له.



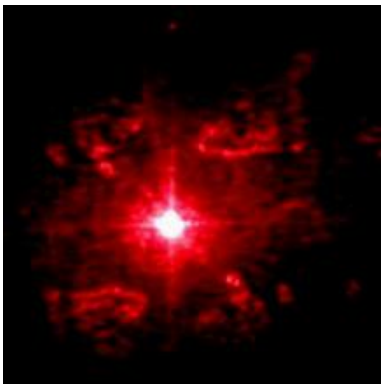
ويبين الشكلين (4) و(5) الهولوغرام الناتج وعملية إعادة البناء البصري على التوالي. إن عملية إعادة البناء البصري هي جداً سهلة وبسيطة. حيث ترتب العدسات بوضع تجعل حزمة الليزر تغطي جميع الهولوغرام. توضع مرآة على بعد (2m) من الهولوغرام لعكس صورة الجسم بالقرب من الهولوغرام وجعل رؤية صورة الجسم المعاد بناءهً بشكل سهل، حيث يمكن ملاحظة هذه الصورة في الشكل (5). لو أنعمنا النظر في هذا الشكل لوجدنا ان الصورتان الأولية يمكن مشاهدتها بسهولة وأكثر وضوحاً ويمكن تميزها عن صور المراتب العليا التي تنتج من إجراء عملية العينات (Sampling) وعملية إجراء تحويل فورير.

وأيضاً يمكن مشاهدة نمط مرقط (Speckle Pattern) الذي ينشأ من النوعية البصرية الغير جيدة نسبياً للورق الشفاف.

قدرة التحليل للهولوغرام يمكن إن يفهم بالرجوع للشكل (5). حيث ان عملية تحويل فورير تعاد بفترة مقدارها $f\lambda/2d$ حيث (d) هي الفاصل بين بكسل وآخر.



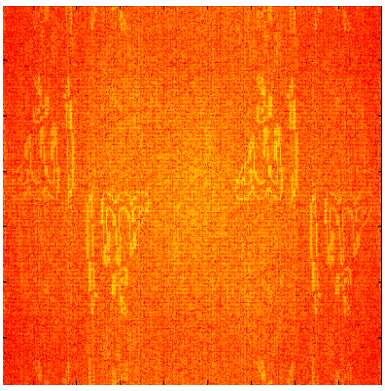
شكل (4): الهولوغرام للصورة في الشكل (3).



شكل (5): الصورة الناتجة من عملية إعادة البناء البصري.

(Pixel Spacing) على الهولوغرام. كل مرتبة حيود لها صور متناظرة. ولأجل إجراء عملية إعادة بناء جيدة متحاشياً عملية تداخل بين المرتبة الصفرية والأولى يجب أن تحدد الصورة لتقع بين المحور البصري و القيمة $f\lambda/4d$. إن حجم بقعة الحيود تقريباً تساوي $f\lambda/D$ حيث D هي قطر الهولوغرام، لذلك قدرة التحليل $R \approx \frac{D}{4d} = 75$ اذا كان مساحة الهولوغرام تساوي $1'' \times 1''$ عند استخدام طابعة ذات قدرة تحليل 300dpi.

يمكن أيضاً الحصول على عملية إعادة البناء لكن بالطريقة الحاسوبية باستخدام برنامج الماتلاب وهي طريقة سريعة وسهلة جداً. كما في شكل (6) حيث تظهر فيها صور الجسم المعاد بنائها.



شكل (6): الصورة الناتجة من عملية إعادة البناء الحاسوبي.

في هذا البحث أعطينا ابسط أنواع الهولوغرامات تحويل فورير باستخدام الحاسوب وان بالإمكان عمل أنواع أخرى من الهولوغرامات وبشكل جيد أيضاً. ومثال على ذلك يمكن إضافة عدسات الى الهولوغرام وابسط طريقة لعمل ذلك هو جعل السعة النافذة للهولوغرام تساوي[7]:

$$A(r') = \sum_i \cos(2\pi |r' - r_i|^2 / f\lambda + \phi_i) \quad \text{..... (4)}$$

وهذه بشكل مناسب تكون الصورتين في المرتبة الأولى والبقعة المركزية المضيئة في مستويين مختلفين هذا يضيف خلفية للصورة لكن هذا يجعل قدرة التحليل تزداد الى $\frac{D}{2d}$.

وهناك شي آخر مثير للاهتمام هو تشكيل صورة واضحة بإضافة عدستين أخرى الى المنظومة هذا يعمل كمرشح (Filter) مكاني للهولوغرام لإزالة الصور الغير مرغوبة والبقعة المركزية المضيئة.

الاستنتاجات

لما تقدم يمكن استنتاج انه بالإمكان توليد هولوغرامات مع أجهزة او معدات متوفرة وغير غالية الثمن كالحاسوب والطابعة اليزرية وأيضاً تجنبنا فيها استخدام عملية التصوير الفوتوغرافي. وهذه الطريقة يمكن تطبيقها وعرضها بسهولة في المختبرات على الطلبة ويمكن إضافتها الى كافة المختبرات البصرية.

المصادر

[1] J. S. Marash and R.C. Smith "Computer hologram with a desk-top calculate", Am. J. Phys., Vol. 44, 1976, pp 774-777.

[2] C. W. Leming and O. P. Hasting III, "Computer - genrated microwave hologram", Am. J. Phys., Vol. 48, 1980, pp 938-939.

[3] X. Chen, J. Hung, and E. Loh "Computer-assisted teaching of optics", Am. J. Phys., Vol. 55, 1987, pp 1129-1133.
[4] R. K. Jamal, "Construction of photo-Holographic Element using the computer, M.Sc. Thesis, University of Baghdad.
[5] R. K. Jamal, "Monochrome Image Hologram (MIH), Um-Salama J., Vol.5, No. 2, 2008, pp
[6] E. Hecht, Optical Socity of America, Addison-Wesley Publishing Company, Ch11.
[7] W. Lee, " Computer-Generated Hologram: techniques and applications", Progress in Optics, Vol. 16, 1987, pp 1978.

Abstract:

In this paper we obtained on furrier transform hologram that have high efficiency, by using Personal Computer, laser printer, overhead transparency without conventional photography process. Matlab program used to obtain on hologram. Optical and Computerize reconstruction process done on it. The result show, this method is very important to show it to researchers and studenst in all optics laboratory.