الهولوغرامات الحاسوبية المولدة بدون تصوير فوتوغرافي

رائد كامل جمال
قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة بغداد، بغداد– العراق

الخلاصة

في هذا البحث تم إنتاج هولوغرامات تحويل فورير ذات كفاءة عالية نسبياً، باستخدام حاسوب شخصي، طابعة ليزريه، ورق شفاف وبدون الحاجة الى 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 الذين يعملون في جميع مختبرات البصريات.

Computer Generated Hologram without Photography

Raid K. Jamal
Department of Physics, College of science, University of Baghdad. Baghdad- Iraq

Abstract

In this paper we obtained Fourier transformation hologram that it has relatively high efficiency by using Personal Computer, laser printer, transparence paper without need to use the conventional photography process. Matlab program used to obtain hologram. Optical and Computerized reconstruction process was done on it. The results show this method is promising it is important to present it to researchers and students that they are working in all optics laboratories.

مقدمة

الهولوغرامات المولدة حاسوبياً (Computer Generated Holograms) تقوم على اساس ترميز ثنائي(Binary Encoding) مناسب لدالة النفوذ المعقدة (Complex Transmission Function) للهولوغرام. لقد اقترحت عدة حلول لهذه المسألة [١- ٥] وجميع هذه الحلول كانت تهدف الى تحسين عمليات إعادة البناء (Reconstruction Process)، ولكن هذه البحوث كانت تفتقر الى أجهزة لعرض او رسم الهولوغرام وتصويرها فوتوغرافياً. في هذا البحث تم تسجيل ١٢٨×١٢٨ عنصر هولوغرافي في الانج المربع الواحد على ورق شفاف (Transparence paper) بأستعمال طابعة ليزرية (Laser Printer) ذات كفاءة جيدة وكلفة قليلة بزمن لا يتجاوز بضع ثواني. في عملية إعادة البناء نلاحظ إن الصور تكون ذات كفاء عالية ونتائجها مشجعة. هذا النوع من الهولوغرامات سوف يكمل جميع التقنيات الهولوغرامية البصرية والواجب توضيحها للدارسين والطلبة.

على الرغم من إن هناك أنواع عديدة من الهولوغرامات التي يمكن إنتاجها بطرق مختلفة الا إن هولوغرامات تحويل فورير (Fourier Transform Hologram) هي التي سوف يتم عرضها في هذا البحث. هذا النوع من الهولوغرامات يسجل معلومات السعة (Amplitude) والطور (Phase) لتحويل فورير لصورة الجسم.

عند وضع الهولوغرام أمام العدسة واضاءته بموجة مستوية من الضوء، فان نمط حيود فرانهوفر (Fraunhofer

(Diffraction Pattern) الذي يظهر في المستوي البؤري للعدسة هو تحويل فوريير لدالة النفوذ للهولوغرام [٦]. وبسبب إن تحويل فوريير للجسم هو دالة عقدية بشكل عام، لذا فان هولوغرام تحويل فوريير يحتاج الى تعديل كل من السعة والطور للضوء النافذ.

المسألة الرئيسية للهولوغرامات المولدة حاسوبياً هي كيفية محاكاة (ترميز) تحويل فوريير عن طريق الترميز الثنائي، حيث في هذا البحث تم استعمال طريقة البكسل (Pixels) الشفاف والمعتم باستعمال 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 $a(r_j)$ والطور ϕ_j، الهولوغرام المثالي سيكون له دالة سعة نفوذ معقدة كالأتي [٧]:-

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

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. هذا بوضوح لا يمكن تمثيلها بشكل جيد بالترميز الثنائي. ان الطريقة الأبسط لتحويلها الى دالة حقيقية موجبة هو اخذ الجزء الحقيقي من معادلة (١) 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. ان إضافة ثابت لتحويل فوريير يضيف نقطة مركزية مضيئة (Central Bright Spot) لعملية إعادة البناء. ولهذا فان الهولوغرام ذو 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.

ان قيم الطور ϕ_j تكون ذات سلوك اعتباطي (عشوائي). هذه الاعتباطية تلعب دور مهم في تحديد نوعية الصورة للهولوغرام المولدة حاسوبياً. إن عملية تحويل الهولوغرام الحقيقي الموجب الى النظام الثنائي تنجز بسهولة أكثر باستخدام طريقة العتبة التي تعتمد على قيم حد العتبة (t) بموجب هذه الطريقة يتم اعتبار البكسل معتم (Dark Pixle) عند $A(\acute{r})$ اذا ما تحقق الشرط $A(\acute{r})\le t$، ويكون البكسل شفاف (Transparent Pixel) في حالة المعاكسة، أي إذا كانت $A(\acute{r})> t$.

إن الترميز الثنائي للهولوغرام لا يميز قيم الـ $A(\acute{r})$ التي هي اكبر من حد العتبة (t) من تلك التي هي قريباً جداً من حد العتبة، وهذه القيمة تعين بالتجربة والخطأ (By Trail and Error). لهذا من المهم تعديل عمق التضمين للهولوغرام (Modified Depth of the Hologram) ليكون أكثر تناظراً، هذا يعني إن تحويل فوريير لإعادة البناء سينشر بالتساوي بقدر الإمكان على البكسلات المختلفة الكثيرة في مستوي الهولوغرام، هذا يتم باختيار الطور ϕ_j بشكل عشوائي (Random Phase).

الجزء العملي

المنظومة التي تم العمل بها موضحة في الشكل ١ والتي تتكون من:

١- جهاز حاسوب، محمل ببرنامج الماتلاب (Matlab) لغرض إنتاج الهولوغرام.
٢- طابعة ليزرية ذات دقة مكانية ٣٠٠dpi او اعلى.
٣- نظام بصري يتكون من ليزر هيليوم- نيون بقدرة 5mW وعدسة عينية (Microscope Object) ٢٠X وعدسة ذات بعد بؤري يساوي ١٥cm. هذه العدستين تبئر حزمة الليزر على بعد ٤m عن الهولوغرام. يتم وضع مرآة خلف الهولوغرام، مع مرآة لاحتواء الصورة الى الخلف بالقرب من الهولوغرام، وهذه المسافة تجعل الجسم المعاد بناؤه يمكن النظر اليه بسهولة من قبل المشاهد بدون الحاجة الى تكبير أضافي.

لرسم الهولوغرام استخدم برنامج الماتلاب وبرنامج عرض الصور (Paint)، وان أبعاد مصفوفة الجسم المراد عمل هولوغرام له يكون مساوي الى R×R بكسل، إن قيمةR تمثل قدرة التحليل النظرية للهولوغرام. الشكل ٢ يبين كيفية قراءة صورة الجسم المراد عمل له هولوغرام وكيفية رسم الهولوغرام. حيث أن السعة النافذة للهولوغرام تساوي[٧]:

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

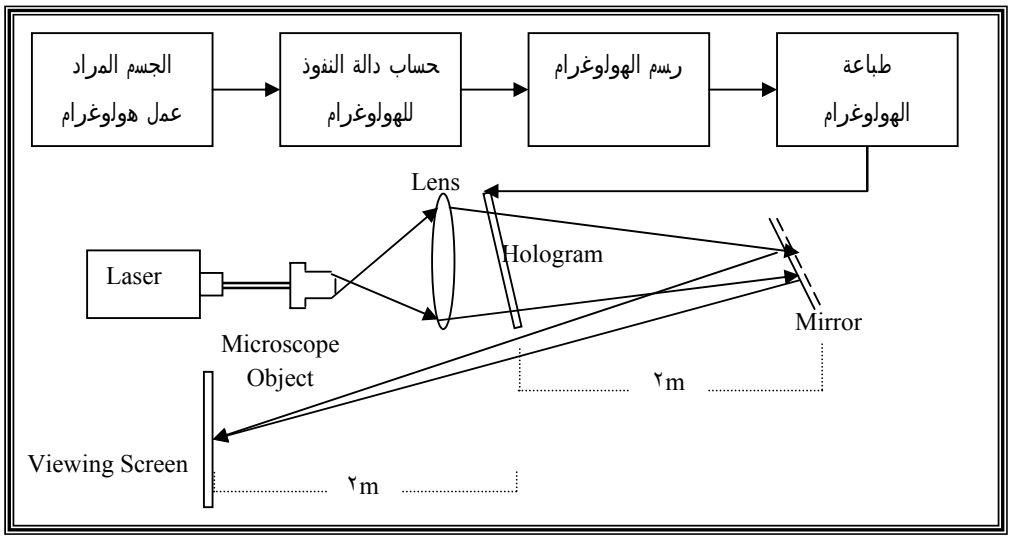
ان الترميز الثنائي للهولوغرام (سعة النفوذ $A(\acute{r})$) يهيئ ليكون عدد العينات مقدارها ٤R×٤R بكسل وتحدد القيم العظمى

والصغرى لدالة سعة النفوذ A(f́). ان النقـاط التـي تحقـق الشرط التالي[٧]:

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

حيث ان t تمثل القيمة الحرجة وتؤخذ هنا مساوية الـى ٠.٦. ان قيم A(f́) تساوي واحد إذا لم يحقق الشرط أعلاه وتساوي صفر اذا تحقق الشرط.

إن عملية حساب تحويل فورير يستغرق وقت مقـداره دقيقـة واحدة بواسطة برنامج الماتلاب ويتم خزن الهولوغرام ومـن ثم طباعته بواسطة الطابعة الليزرية وباستخدام ورق شـفاف وذات قدرة تحليل جيدة نسبياً.



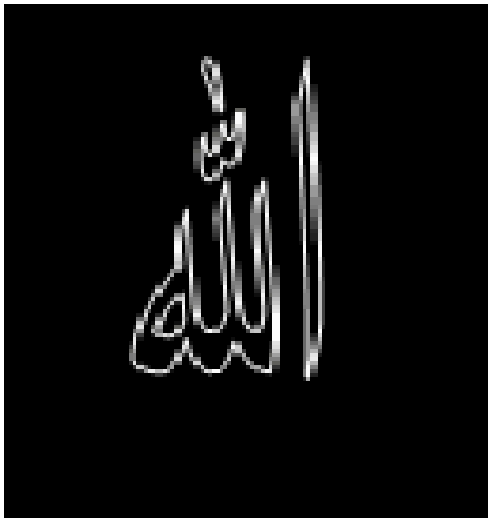
شكل ١: منظومة تسجيل الهولوغرام وعملية إعادة البناء.

تثبت هذه الشفافية على حامل لإجراء عملية إعادة البناء. يبين الشكل ٣ صورة الجسم المراد عمل هولوغرام له والذي يتمثل بكلمة لفظ الجلالة (الله). ويبين الشكلين ٤ و٥ الهولـوغرام الناتج والصورة الناتجة عن وعملية إعادة البناء البصري على التوالي.

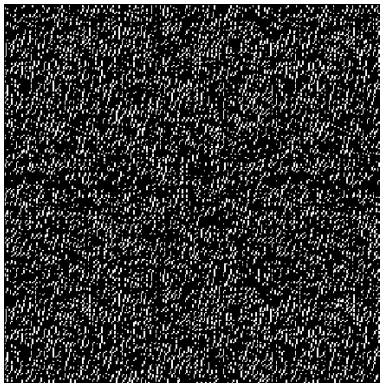
(Pixel Spacing) علـى الهولـوغرام. كـل مرتبـة حيـود لهـا صور متناظرة. ولأجل إجراء عملية إعادة بناء جيدة متحاشياً عمليـة تـداخل بـين المرتبـة الصـفرية والأولـى يجـب أن تحـدد الصورة لتقع بين المحور البصري و القيمة $f\lambda/4d$. إن حجم بقعـة الحيـود تقريبـاً تسـاوي $f\lambda/D$ حيـث D هـي قطـر الهولـوغرام، لـذلك قـدرة التحليـل $R \approx \frac{D}{4d} = 75$ اذا كـان مسـاحة الهولـوغرام تسـاوي $(2.5\times2.5)cm^2$ عنـد اسـتخدام طابعة ذات قدرة تحليل ٣٠٠ dpi.

```
R=٧٥ "power resolving"
pi=٦.٢٨
a=imread('c:\i.bmp');
for x=١:١٢٨;
   for y=١:١٢٨;
        for c=١:١٢٨;
           for d=١:١٢٨;
p(c,d)=p(c,d)+cos(pi*(c*(١-x/R)+ *y/R));
           end
        end
     end
 end
mx=max(max(p));
mn=min(min(p));
r=mx-mn;
for x=١:١٢٨;
   for y=١:١٢٨;
      if (p(x,y)-mn)/r>٠.٦
        p(x,y)=١;
      else
        p(x,y)=٠;
    end
   end
end
```

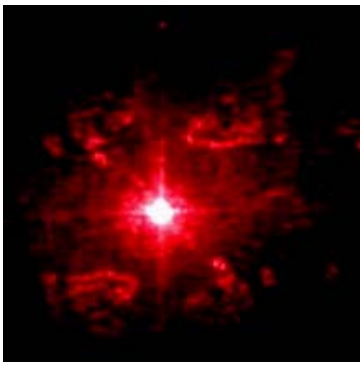
شكل ٢: البرنامج الحاسوبي لحساب سعة النافذة للهولوغرام



شكل ٣: صورة الجسم مراد عمل هولوغرام له.



شكل ٤: الهولوغرام للصورة في الشكل ٣



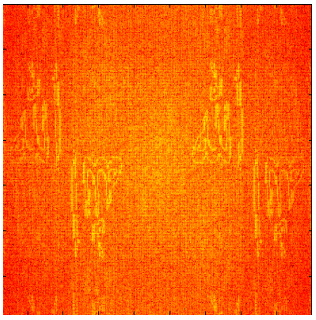
شكل ٥: الصورة الناتجة من عملية إعادة البناء البصري

يمكن أيضاً الحصول على عملية إعادة البناء لكن بالطريقة الحاسوبية باستخدام برنامج الماتلاب والموضح خطوات في الشكل ٦ وهذه الطريقة تكون سريعة وسهلة جداً.

```
a=imread('c:\H.bmp');
b=ifft٢(a);
imagesc(b)
```

شكل ٦: البرنامج الحاسوبي لإجراء عملية إعادة البناء

حيث H هو اسم الملف (الهولوغرام) او الصورة الناتجة من البرنامج في الشكل ٢، وان الرمز ifft٢ يمثل عملية إجـراء معكوس تحويل فورير للهولوغرام ذات البعـدين. ويوضـح شكل ٧ الصورة الناتجة من هذه العملية.



شكل ٧: الصورة الناتجة من عملية إعادة البناء الحاسوبي

في هذا البحث أعطينا ابسط أنـواع الهولوغرامـات تحويـل فورير باستخدام الحاسوب وان بالإمكان عمل أنواع أخرى من الهولوغرامات وبشكل جيد أيضاً. ومثال علـى ذلـك يمكـن إضافة عدسات الى الهولوغرام وابسط طريقة لعمل ذلك هـو جعل السعة النافذة للهولوغرام تساوي[٧]:

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

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 أخرتين للمنظومة والتي يمكن ان تعملان كمرشح مكاني(Spatial Filter) للهولوغرام لإزالة الصور غير المرغوبة والبقعة المركزية المضيئة.

الاستنتاجات

لما تقدم يمكن استنتاج انه بالإمكان توليد هولوغرامـات مع أجهزة او معدات متوفرة وغير غالية الـثمن كالحاسـوب والطابعة الليزرية وأيضاً تجنبنا فيها استخدام عملية التصوير الفوتوغرافي. وهذه الطريقة يمكن تطبيقها وعرضها بسـهولة في المختبرات على الطلبـة ويمكـن إضـافتها الـى كافـة المختبرات البصرية.

المصادر

١. Marash, J. S. and Smith, R.C. ١٩٧٦. Computer hologram with a desk-top calculate, *Am. J. Phys.*, Vol. ٤٤: ٧٧٤-٧٧٧.

٢. Leming, C. W. and Hasting, O. P. ١٩٨٠. III, Compute-Generated microwave hologram, *Am. J. Phys.,* ٤٨: ٩٣٨-٩٣٩.
٣. Chen, X.; Hung, J. and Loh, E. ١٩٨٧. Computer assisted teaching of optics, *Am. J. Phys.*, ٥٥:١١٢٩-١١٣٣.
٤. Jamal, R. K. Construction of photo Holographic Element using the computer, M.Sc. Thesis, University of Baghdad.
٥. Jamal, R. K. Monochrome Image Hologram (MIH), Um-*Salama J.,* **٥** (٢):٢٠٠٨.
٦. Hecht, E. *Optical Socity of America*, Addison-Wesley Publishing Company, Ch١١.
٧. Lee, W. ١٩٨٧. Computer-Generated Hologram: techniques and applications, *Progress in Optics*, ١٦: ١٩٧٨.