

CORRELADOR ÓPTICO CONTROLADO MEDIANTE UNA SOLA TARJETA DIGITALIZADORA DE 8 BITS

I. Labastida, A. Carnicer, E. Martín-Badosa, S. Vallmitjana, I. Juvells
Laboratori d'Òptica, Departament de Física Aplicada i Òptica, Universitat de Barcelona
Av. Diagonal 647, E08028 Barcelona
E-mail: nasi@optica.ub.es

Resumen

En este trabajo analizamos diferentes aspectos referentes a la construcción de un correlador óptico de VanderLugt. El montaje está diseñado para mostrar las imágenes en dos pantallas de cristal líquido, una en el plano de entrada y la otra en el plano de Fourier. Las distancias necesarias han sido reducidas mediante la utilización de sistemas de teleobjetivos. Presentamos un método original para controlar ambas pantallas con una sola tarjeta digitalizadora de 8 bits y la propia electrónica del videoprojector de donde han sido extraídas. También tratamos los problemas relacionados con el control píxel a píxel y la modulación en fase en estos paneles. Todas las soluciones propuestas han sido implementadas y hemos obtenido resultados experimentales con dicho correlador.

Palabras clave: Reconocimiento de formas, correlación óptica, moduladores espaciales de luz, pantallas de cristal líquido

1 Introducción

Hoy en día, la reducción de las distancias geométricas en los correladores ópticos, para construir sistemas miniaturizados, se ha convertido en una necesidad para aplicaciones reales [1, 2, 3]. La utilización de pantallas de cristal líquido (LCD) como moduladores espaciales de luz (SLM) se ha convertido en el método más usual para mostrar las imágenes y controlar el montaje en sistemas de procesado óptico de información [4]. Aunque en el mercado ya existen moduladores de alta velocidad, también es posible obtener pantallas con menores prestaciones extrayéndolas de videoprojectores comerciales, con un coste inferior. Estos dispositivos están diseñados para proyección y por lo tanto presentan una alta resolución con velocidad de vídeo. Aunque haya varios correladores diseñados para trabajar a alta velocidad [2], existen algunas aplicaciones que requieren alta resolución, como los sistemas adaptativos basados en el correlador de transformadas conjuntas (JTC) o en problemas de búsqueda en áreas extensas [5].

Como resultado de utilizar pantallas con píxeles, el estudio para construir un correlador óptico en un espacio reducido no tiene que estar limitado a un diseño de un sistema óptico. Se debe incluir un análisis del comportamiento de los dispositivos, así como el uso del mínimo material necesario para controlar simultáneamente las dos pantallas en el correlador de VanderLugt, lo que en un principio conllevaría la duplicación de la electrónica de control.

En este trabajo tratamos diferentes aspectos referentes a la construcción de un correlador óptico. Para reducir la longitud total del sistema hemos utilizado dos sistemas de teleobjetivos. Presentamos un método original para controlar los dos moduladores con una sola tarjeta digitalizadora de 8 bits y la electrónica del videoprojector. Este método obliga a utilizar imágenes de 16 niveles

de gris, que son suficientes para obtener buenas correlaciones. Hemos solucionado problemas relacionados con el control píxel a píxel al mostrar los datos desde la tarjeta digitalizadora a las pantallas, y también hemos analizado la modulación en fase introducida por las paneles. Finalmente, hemos obtenido resultados experimentales utilizando el correlador.

2 Caracterización de las pantallas de cristal líquido

Las LCDs empleadas en este trabajo han sido extraídas de un videoprojector Epson VP-100PS, que contiene tres LCDs, una para cada canal RGB. Sin embargo, hemos utilizado la propia electrónica del videoprojector para controlar las imágenes que se envían a las pantallas. La zona activa de estos paneles es de 25.6x19.8 mm, lo que corresponde a 320x264 píxeles de 55x50 μm con una distancia de interpixelado de 80x75 μm . En la Figura 1 se puede observar un esquema de las características de estas LCDs. Tal y como se ve en la figura, una pequeña fracción de la zona activa no es usada por la electrónica para mostrar imágenes (ver los detalles en la Sección 3.2).

La tarjeta digitalizadora utilizada en los experimentos es una Matrox PIP-1024B con salida RGB. Esta tarjeta almacena una imagen de 512x512 píxeles con 256 niveles de gris (8 bits por píxel).

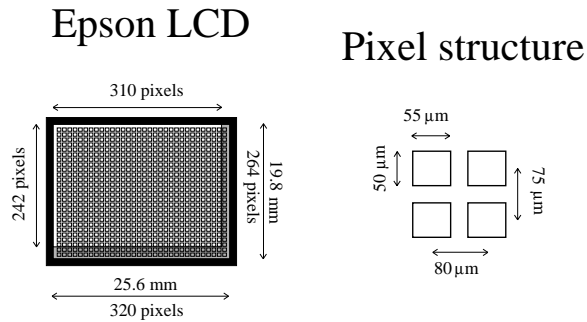


Figura 1: *Esquema de la estructura de la LCD*

2.1 Curvas operativas de las LCDs

Las curvas operativas de las LCDs dan información sobre el modo como estos dispositivos modulan la luz en función del nivel de gris asignado a cada píxel [6]. La luz puede modularse en amplitud, en fase o en ambas a la vez. Esta trasmittancia compleja depende de los estados de polarización de la luz así como del voltaje aplicado a cada píxel. Cuando se coloca una pantalla entre dos polarizadores (polarizador y analizador), sus configuraciones de trabajo, que darán lugar a las curvas operativas, están determinadas por la posición de los polarizadores así como las posiciones de los controles (brillo, contraste y color) del videoprojector. Cuando se utiliza un solo videoprojector para controlar dos LCDs, dichos controles tienen que estar en una posición de compromiso y el ajuste final para encontrar las curvas operativas tiene que realizarse rotando los polarizadores.

Las configuraciones más comunes para mostrar imágenes en estos paneles son la de Alto Contraste (AC), con la cual se obtiene un valor de contraste significativo aunque haya una modulación

en fase elevada; la de Casi Todo Amplitud (CTA), en la que la pantalla debería modular la luz que la atraviesa sólo en amplitud pero de hecho siempre existe una pequeña modulación en fase; y finalmente la de Casi Todo Fase (CTF), por la cual la luz quedaría modulada sólo en fase pero, como en el caso anterior, siempre existe una pequeña modulación en amplitud.

El método seguido para caracterizar las LCDs, i.e. para encontrar las curvas operativas, se divide en dos partes. La modulación en amplitud se obtiene directamente del cociente entre la intensidad de la luz de entrada y la de la luz de salida para todo el rango de niveles de gris. Para medir la variación en fase hemos utilizado un método interferométrico. Colocamos la pantalla en uno de los brazos de un interferómetro Mach-Zehnder y medimos el desfase relativo entre diferentes pares de niveles de gris mostrados en la LCD: la mitad del panel siempre está en un valor de gris fijo mientras que la otra mitad muestra diferentes valores. Una explicación más amplia del método puede encontrarse en la Referencia [6].

Para la pantalla que utilizaremos para mostrar la escena hemos escogido una configuración de AC (Figura 2) mientras que para la segunda, la del filtro, hemos obtenido una de CTF (Figura 3). El valor máximo del contraste alcanzado con la curva de AC ha sido de 100:1, mientras que la modulación en fase asociada llega a un valor máximo de 0.9π radianes. Hemos escogido esta curva en lugar de una de CTA debido al bajo contraste de esta última (alrededor de 10:1). La modulación en fase asociada a la curva de AC se compensará en el cálculo de los filtros tal y como explicaremos en la sección de resultados experimentales. De la configuración de CTF cabe destacar que se alcanzan 1.88π radianes en modulación de fase con una pequeña variación de amplitud (1:0.7).

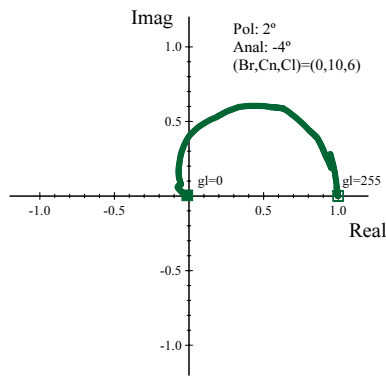


Figura 2: Configuración de AC

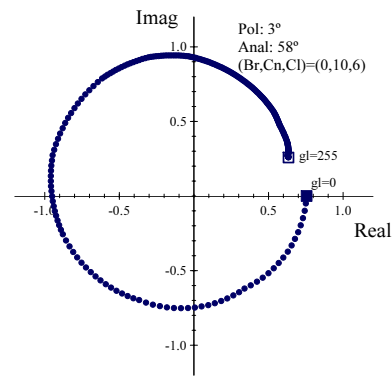


Figura 3: Configuración de CTF

3 Control de las LCDs

Para operar simultáneamente con dos LCDs normalmente se utilizan dos sistemas de control. En este trabajo presentamos un método original para controlar ambas pantallas con un solo sistema electrónico. Las LCDs están controladas por la propia electrónica del videoprojector y por una sola tarjeta digitalizadora que sirve para enviar las imágenes, escena y filtro, a los moduladores. Con este método reducimos el equipamiento necesario en el correlador porque sólo se requiere un sistema de visualización, ganando, obviamente, en simplicidad y economía. En esta sección también presentamos un método de control píxel a píxel para tener una correcta muestra de las imágenes en las LCDs.

3.1 Almacenamiento de dos imágenes en una sola tarjeta digitalizadora de 8 bits

La tarjeta digitalizadora que utilizamos almacena una imagen de 512x512 píxeles de 8 bits. Para trabajar con dos imágenes, cada byte (8 bits) tiene que ser compartido por los píxeles de ambas imágenes. En nuestro método, el nibble (4 bits) más significativo está ocupado por la escena, mientras que el menos significativo se usa para el filtro. Por lo tanto el número de niveles de gris de cada imagen se reduce de 256 a 16 para poder codificarla en un nibble. Esto es equivalente a eliminar el nibble menos significativo de los píxeles de cada imagen. Entonces el nivel de gris almacenado en la tarjeta se genera juntando los dos nibbles resultantes en un solo byte. El proceso está esquematizado en la Figura 4. La reducción a 16 niveles de gris no es importante en términos de correlación.

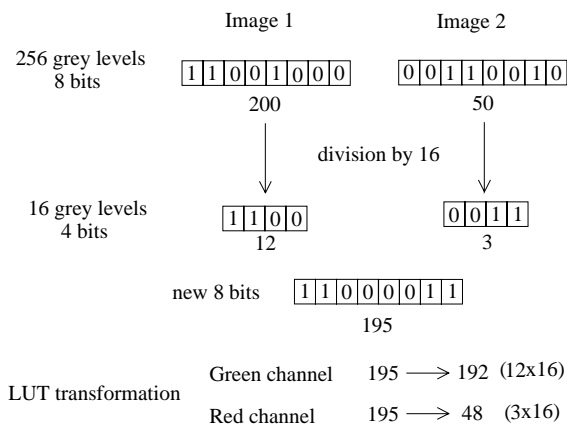


Figura 4: Método de control de dos imágenes en la tarjeta digitalizadora

Debido a que la tarjeta tiene una salida RGB, es posible crear tablas de salida (LUTs) diferentes para cada canal. Utilizando dos LUTs apropiadas, se puede separar para cada canal la información de cada imagen almacenada conjuntamente en un solo byte. Las Figuras 5 y 6 muestran las LUTs que hemos diseñado para el canal verde y el rojo, respectivamente. Como se puede observar, sólo el nibble más significativo del nuevo byte generado es relevante para el canal verde, mientras que la salida por el canal rojo sólo depende del nibble menos significativo. Finalmente, conectamos la salida RGB de la tarjeta digitalizadora a la entrada RGB del videoprojector.

El uso de un solo videoprojector presenta una ventaja adicional con respecto al control de las LCDs con dos electrónicas independientes, ya que en este último caso sería necesario un buen ajuste en la señal de sincronismo.

La principal ventaja de este método es la reducción del material involucrado en el montaje aunque hay algunas desventajas. Las dos imágenes tienen que ser del mismo tamaño y deben estar almacenadas en la misma posición de memoria de la tarjeta digitalizadora. Los controles de la electrónica tienen que estar fijos en una posición para cualquier curva operativa de ambas pantallas. Otra desventaja es la reducción en los niveles de gris de las imágenes, aunque en términos de correlación no sea importante. Finalmente, hemos observado que existe un cross-talk entre paneles. Empíricamente, utilizando un osciloscopio, hemos determinado una posición del control de color del videoprojector para la cual este fenómeno desaparece casi por completo.

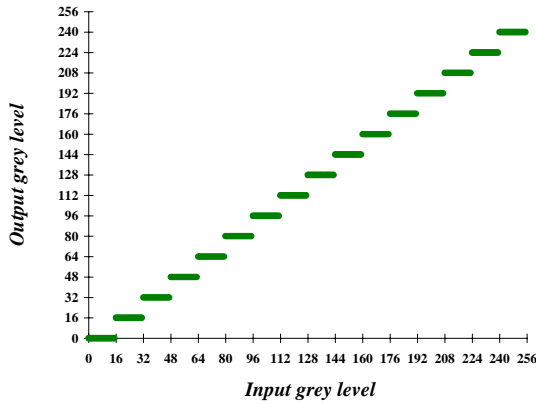


Figura 5: *LUT para el canal verde*

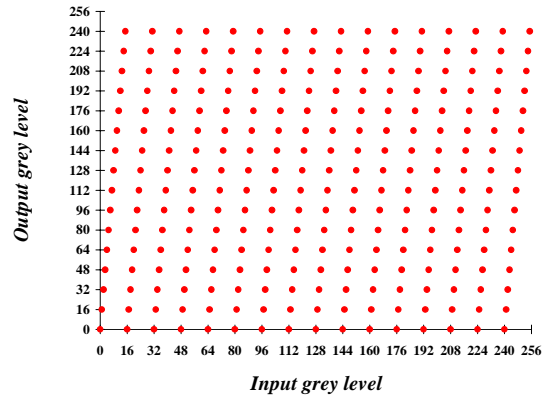


Figura 6: *LUT para el canal rojo*

3.2 Control píxel a píxel de las imágenes desde la tarjeta digitalizadora a las LCDs

Aunque el ancho de banda nominal de estos dispositivos es de 320x264 píxeles, hemos observado que sólo podemos emplear 310x242 píxeles para mostrar las imágenes en nuestro montaje. Por otra parte, el ancho de banda de la imagen digitalizada en la tarjeta es de 512x512 píxeles. Hemos visto que las primeras 28 filas y las primeras 34 columnas de la imagen almacenada se pierden cuando se envía a la pantalla a través de la tarjeta digitalizadora. Por lo tanto el ancho de banda real queda reducido a 478x484 píxeles. Las 484 filas se promedian dos a dos con predominancia de las impares, tal y como se muestra en la Figura 7, convirtiéndose en las 242 filas activas de la LCD. Por otro lado, las 478 columnas en la tarjeta pasan a ser 310 en la LCD mediante una interpolación, que en la práctica consiste en la pérdida de una de cada tres columnas.

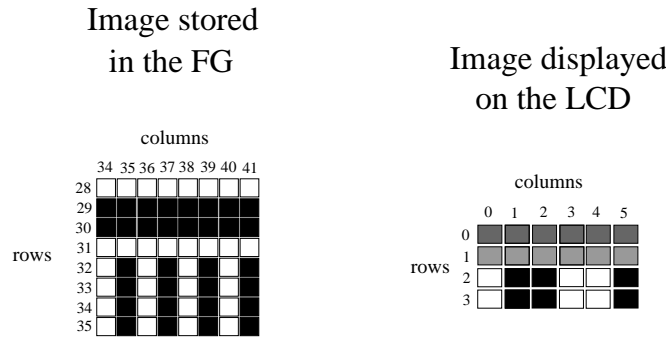


Figura 7: *Conversión de la imagen desde la tarjeta digitalizadora a la LCD*

A continuación presentamos un procedimiento para mantener un control píxel a píxel de las imágenes. Como hemos dicho, las imágenes tienen que ser de un tamaño máximo de 310x242 píxeles. A partir de una imagen de estas dimensiones, primero hay que duplicar las filas y luego

aplicar a las columnas un zoom de interpolación lineal con un factor $1.542 (= \frac{478}{310})$. De esta manera en la tarjeta se obtiene una imagen de 484x478 píxeles que será modificada en la LCD apareciendo la imagen original. Con este método se obtiene un control píxel a píxel bastante bueno aunque resulte más crítico el de las columnas que el de las filas.

4 Correlador convergente de VanderLugt con teleobjetivos

El correlador convergente de VanderLugt es una modificación del clásico montaje 4f [7]. El principal problema que presenta el correlador 4f es la necesidad de largas distancias para trabajar en un banco óptico con los elementos adecuados y las escalas apropiadas.

El montaje óptico del correlador convergente está esquematizado en la Figura 8. Este correlador se basa en el acoplamiento de dos difractómetros con lentes convergentes. Con esta arquitectura las distancias que se requieren se reducen mucho respecto al sistema 4f. Además se pueden reducir aún más con la ayuda de sistemas teleobjetivos. Otra ventaja de este montaje es el hecho de que permite modificar la escala de las transformadas de Fourier sin cambiar las lentes ni las distancias entre ellas. Esta versatilidad simplifica el ajuste entre la transformada óptica y el filtro. Este ajuste tiene que ser preciso porque los resultados de la correlación son extremadamente sensibles a desalineamientos.

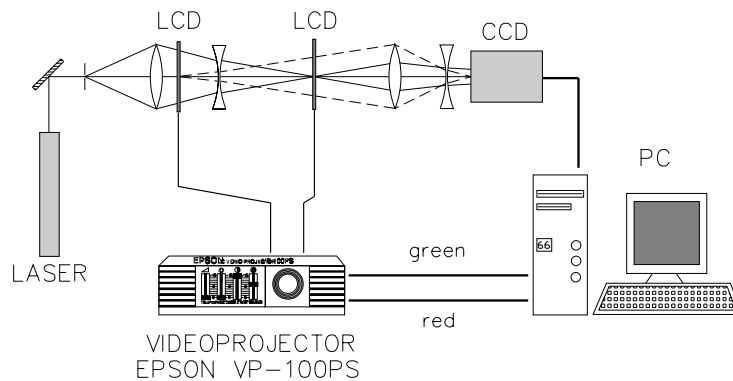


Figura 8: *Correlador convergente de VanderLugt*

Para diseñar el correlador hay que tener en cuenta varios aspectos referentes a las escalas y las distancias involucradas. Definimos la constante de difracción (K) como el factor de escala entre el plano de Fourier y el plano de entrada. En el correlador convergente, el valor de esta constante, correspondiente a la primera lente, tiene que ser suficientemente grande para separar los órdenes de difracción generados por la estructura pixelada de la primera LCD. En general, la distancia entre órdenes tiene que ser como mínimo del tamaño de la segunda pantalla. Sin embargo, podemos reducir esta separación al tamaño de la imagen, en nuestro caso de 256x256 píxeles. Como hemos señalado en la Sección 2 la distancia entre píxeles en estas LCDs es de $80 \times 75 \mu m$. Tener en el plano de entrada una pantalla con un interpixelado no cuadrado produce una distorsión en la transformada óptica de Fourier. Debido a este efecto, la imagen del filtro tiene que ser modificada para tener un buen ajuste en el plano de Fourier. La manera más sencilla de evitar dicha distorsión es rotar la segunda LCD 90° .

Aunque la longitud total del montaje queda reducida con el correlador convergente, podemos acortarlo aún más con el uso de sistemas de teleobjetivos en lugar de lentes simples. Con la utilización de parejas de lentes convergentes y divergentes podemos aumentar la constante de difracción en un espacio reducido [8].

5 Resultados experimentales

Una vez hemos diseñado el montaje y hemos estudiado los problemas involucrados, queremos demostrar su empleo. Hemos montado un correlador convergente VanderLugt con dos LCDs, en los planos de entrada y de Fourier, controladas mediante una tarjeta digitalizadora de 8 bits, y con sistemas de teleobjetivos para realizar la difracción. La Figura 9 muestra la imagen utilizada en los experimentos como escena. El objeto a detectar es el satélite superior izquierda que se encuentra parcialmente superpuesto a la Tierra. La escena original es de 256x256 píxeles y 8 bits por píxel (256 niveles de gris). Esta escena imagen se reduce a un nibble por píxel y se le aplica un zoom para asegurarnos el control píxel a píxel de las imágenes tal y como hemos explicado en la Sección 3.2. Esta escena modificada se envía a la primera LCD que está en condiciones de AC.

Hemos utilizado un filtro de sólo fase (POF) del objeto a detectar, teniendo en cuenta la fase introducida por la configuración en AC del primer panel. Por lo tanto, el POF se calcula a partir de valores complejos: si $f(x,y)$ es la imagen a detectar y $\hat{f}(x,y)$ la función compleja que se obtiene después de modificar $f(x,y)$ con la curva operativa del primer modulador, el filtro se calculará de la misma manera que un POF:

$$POF(u,v) = \frac{[\mathcal{FT}(\hat{f}(x,y))]^*}{|\mathcal{FT}(\hat{f}(x,y))|} \quad (1)$$

La Figura 10 muestra la correlación óptica entre la escena y el satélite a detectar utilizando el POF adaptado. Este resultado se ha obtenido con la segunda LCD en configuración de CTF.



Figura 9: *Escena de los satélites y la Tierra*

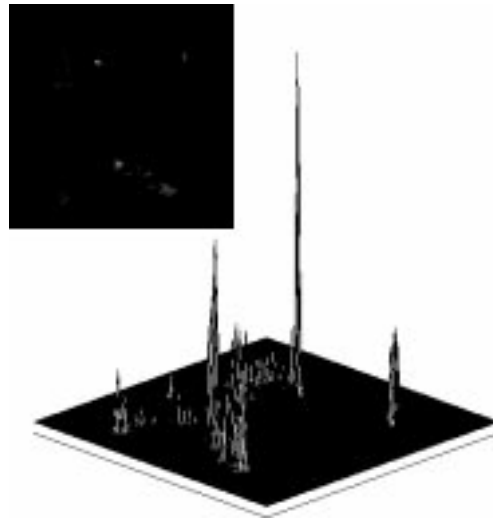


Figura 10: *Plano de correlación experimental y su representación en 3D*

6 Conclusiones

Hemos demostrado la posibilidad de controlar simultáneamente dos LCDs con una sola tarjeta digitalizadora de 8 bits y la electrónica de un videoprojector. La principal ventaja del método propuesto es la utilización del correlador con un mínimo equipamiento. Además se ha hecho un estudio completo de los aspectos necesarios para construir el correlador incluyendo: el uso de sistemas de teleobjetivos para reducir la longitud total del montaje; un pseudocontrol píxel a píxel de la imágenes desde la tarjeta a las pantallas; el análisis de las curvas operativas de las LCDs y su utilización en el diseño de los filtros.

Los resultados ópticos experimentales obtenidos muestran el funcionamiento del montaje propuesto.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por la CICYT con el proyecto TAP97-0454.

Referencias

- [1] H. Rajbenbach, S. Bann, Ph. Réfrégier, P. Jofre, J. P. Huignard, H. S. Buchkremer, A. S. Jensen, E. Rasmussen, K. H. Brenner and G. Lohman, "Compact photorefractive correlator for robotic applications", *Appl. Opt.*, vol. 31, pp. 5666-5674, 1992.
- [2] J. P. Karins, S. A. Mills, N. J. Szegedi, J. R. Ryan, L. G. Kelly, D. H. Goldstein, E. P. Augustus and R. J. Wrangler, "Miniature ruggedized optical correlator for flight testing", *Proc. SPIE*, vol. 2237, pp. 48-53, 1994.
- [3] A. Stoianov, C. Soutar and A. Graham, "High-speed verification using an optical correlator", *Proc. SPIE*, vol. 3386, pp. 242-252, 1998.
- [4] D. A. Gregory, "Real-time pattern recognition using a modified liquid crystal television in a coherent optical correlator", *Appl. Opt.*, vol 25, pp. 242-252, 1986.
- [5] B. K. Jones and J. C. Kirsch, "Optical correlator comparison of near and far field ISAR imagery", *Proc. SPIE*, vol. 2490, pp. 312-317, 1995.
- [6] E. Martín-Badosa, A. Carnicer, I. Juvells and S. Vallmitjana, "Liquid crystal devices complex modulation characterization by interferometric data correlation", *Meas. Sci. Technol.*, vol. 8, pp. 764-772, 1997.
- [7] A. B. VanderLugt, "Signal detection by complex filtering", *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. IT-10, pp. 139-145, 1964.
- [8] I. Juvells, S. Vallmitjana and S. Bosch, "Analysis of a scale-tunable telephoto lens diffractometer and its use in optical correlation", *J. Modern Optics*, vol. 39, pp. 1107-1115, 1992.