

# Elemento radiante de banda ancha en forma de grano de café para guías de onda ranuradas con polarización circular

Miguel Ferrando-Rocher<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>Antennas and Propagation Laboratory (APL-iTEAM), Universitat Politècnica de València, Spain

<sup>2</sup>Microwave and Applied Computational Electromagnetics Group (GMECA), Universidad de Alicante, Spain

**Abstract**—Se presenta un elemento radiante de banda ancha con forma de grano de café para agrupaciones de guía de ondas ranuradas con polarización circular. La solución propuesta se basa en un polarizador muy sencillo destinado a ser integrado en antenas planas en la banda de ondas milimétricas. Para su validación, se toma como alimentador una agrupación de ranuras alimentadas por una red corporativa. En este trabajo se presentan resultados simulados utilizando condiciones de contorno periódicas en la celda unidad. Los resultados preliminares muestran un ancho de banda de frecuencia de 4 GHz con un coeficiente de reflexión por debajo de  $-10$  dB. Cabe destacar la buena pureza de polarización conseguida, manteniéndose por debajo de 1.5 dB de 29 GHz a 31 GHz y por debajo de 3 dB en toda la banda de interés (28 a 32 GHz).

**Index Terms**—Polarización circular, Tecnología Gap waveguide, guías de onda ranuradas, banda Ka.

## I. INTRODUCCIÓN

Las antenas de polarización circular (CP) en la banda de milimétricas han atraído recientemente la atención de la industria debido a sus atractivas características, como el aumento del ancho de banda utilizable, la alta capacidad de carga y la capacidad de soportar la transmisión instantánea de datos [1]. Además, los sistemas 5G son hoy un tema candente y están ávidos de soluciones de bajo perfil, fácil fabricación, radiación direccional y soluciones de alta ganancia [2]-[10]

Frente a este contexto y como se indica en [11] existen tres estrategias bien conocidas para diseñar agrupaciones de antenas planas con polarización circular y con un adecuado ancho de banda: esquemas de rotación secuencial [12], elementos radiantes CP de banda ancha alimentados por redes totalmente corporativas [13], [14] o elementos radiantes de polarización lineal (LP) junto con un convertidor LP a CP. Este trabajo se centra en una estrategia que sigue esta última opción.

El método para convertir LP-a-CP resulta atractivo para las conocidas antenas planas o FPA por sus siglas en inglés. De este modo, es fácil colocar el polarizador directamente en la FPA y transformar la polarización lineal en CP. Esencialmente, el polarizador descompone la onda plana incidente LP en dos componentes ortogonales de amplitud casi igual con una diferencia de fase de  $90^\circ$  para generar una onda plana transmitida con CP.

(\*) This text is a draft version.

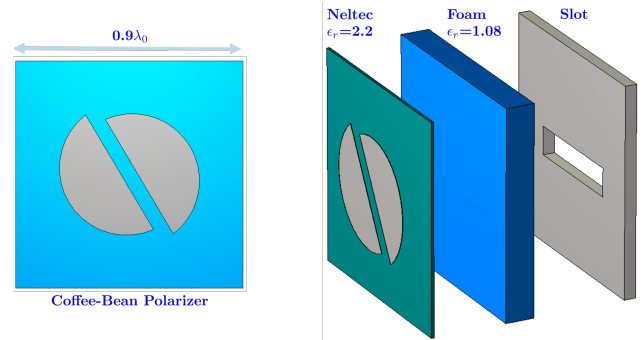


Fig. 1: Vista en perspectiva del elemento radiante.

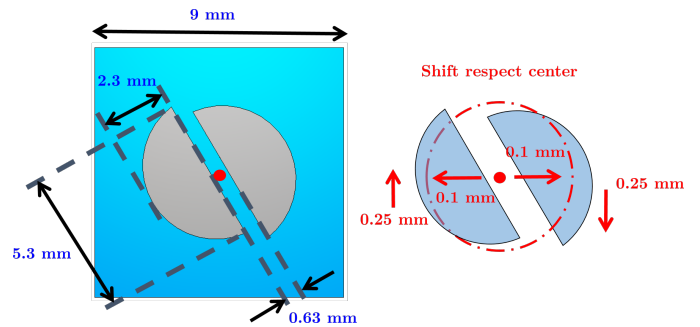


Fig. 2: Vista superior del polarizador en forma de grano de café donde se indican las dimensiones relevantes de la estructura.

Aquí se presenta un polarizador muy sencillo y de bajo perfil que puede integrarse fácilmente en una FPA. Básicamente, el polarizador consiste en un parche circular, dividido en dos partes iguales ligeramente desplazadas, que consigue una característica modal muy interesante. La novedad de este polarizador radica en su simplicidad, bajo coste y facilidad de fabricación e integración en FPAs, con posibles aplicaciones para comunicaciones por satélite en banda Ka.

## II. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LA CELDA UNIDAD

La celda básica está formada por una estructura de dimensiones  $0.9 \times 0.9 \lambda_0$ . La longitud de onda del espacio libre ( $\lambda_0$ ) corresponde a la frecuencia central de trabajo, en este caso 10 mm. Las capas del polarizador, que se muestran en la Fig. 1, se apilan como sigue. Una ranura rectangular actúa como

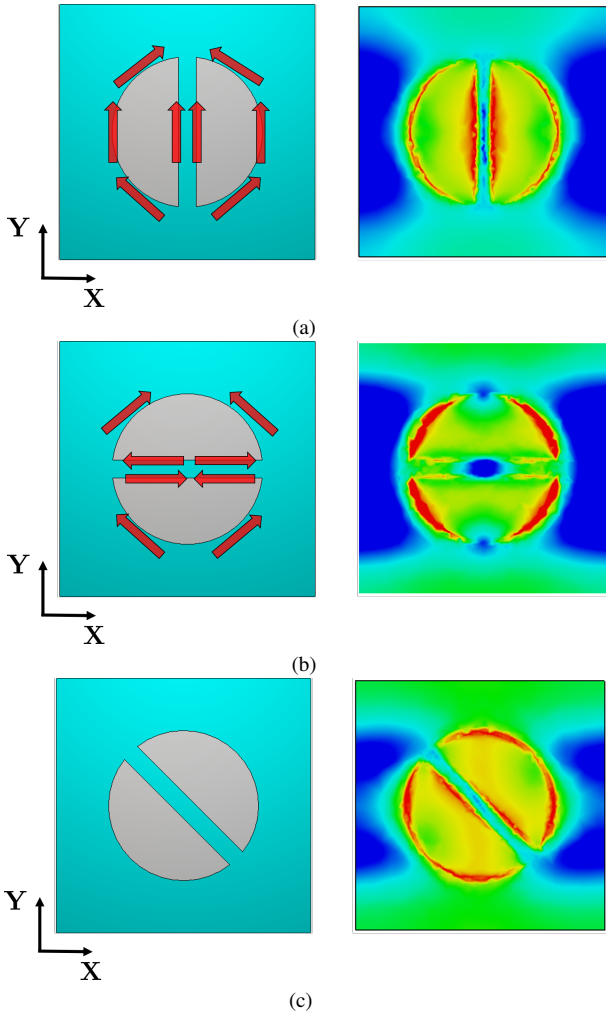


Fig. 3: Distribución de la corriente para diferentes posiciones de las vainas de café.

alimentador. Encima descansa una capa de espuma con una permitividad de 1.08 y un espesor de 1.22 mm y una lámina dieléctrica de Neltec con una constante dieléctrica  $\epsilon_r$  de 2.2 y 128  $\mu\text{m}$  de espesor. Sobre esta última capa se imprime la forma de grano de café metálico con un grosor de 20  $\mu\text{m}$ . La forma resultante de este polarizador de grano de café se compone de un círculo metálico en el que se elimina una zona metálica rectangular, dando lugar a dos segmentos metálicos desunidos enfrentados. Estas dos piezas metálicas desunidas permiten un grado adicional de libertad en el diseño, ya que los centros de los dos semicírculos pueden ser diferentes. Todos los detalles geométricos del polarizador se muestran en la Fig. 2.

#### A. Estudio de los campos

Se puede demostrar que la forma metálica descrita soporta dos modos dominantes, uno para cada polarización del campo.

La Fig. 3a muestra la distribución de la corriente cuando el campo eléctrico iluminante es paralelo a la ranura central. Se puede observar que la intensidad se concentra principalmente alrededor de la ranura central. La Fig. 3b muestra la distribución de la corriente cuando el campo de iluminación

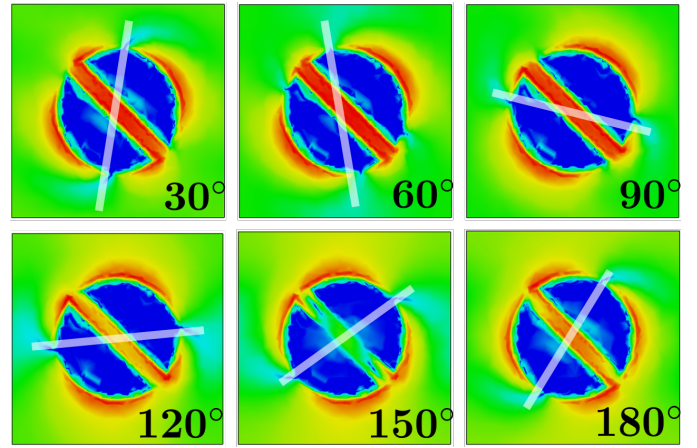


Fig. 4: Variación temporal de la componente tangencial del campo E en la superficie del polarizador.

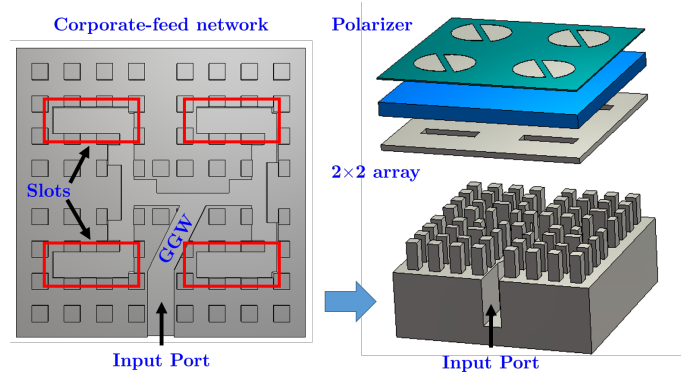


Fig. 5: Estructura del array  $2 \times 2$ .

es perpendicular a la ranura central. En este segundo caso se observa que las corrientes radiantes se concentran a lo largo del contorno exterior de ambos segmentos metálicos. Por último, en la Fig. 3c se muestra cómo la ranura central se gira  $45^\circ$  con respecto al campo iluminante. Con esta rotación se consigue un solapamiento de los modos mostrados en la Fig. 3a y en la Fig. 3b.

Nótese que la Fig. 3a y la Fig. 3b muestran la dirección específica del campo ya que la polarización de las corrientes permanece constante para cualquier instante de tiempo. Este no es el caso de la Fig. 3c donde la corriente cambia con el tiempo. La Fig. 3 muestra la variación temporal de la componente tangencial del campo eléctrico en la superficie del polarizador. En concreto, se muestran 6 instantes de tiempo diferentes, desde  $30^\circ$  hasta  $180^\circ$  en saltos de  $30^\circ$ .

### III. ARRAY SIMULATED PERFORMANCE

Para validar el funcionamiento del polarizador, se utiliza la celda unidad mostrada en la Fig. 5 como alimentador. En la parte izquierda de la figura, se muestra una vista superior de la red de distribución de alimentación corporativa utilizando una guía de ondas Groove Gap (GGW) de polarización horizontal [15]-[20]. Esta red de distribución compacta en forma de candelabro también podría concatenar sucesivamente para alimentar una agrupación mayor. Se utilizan septums en los

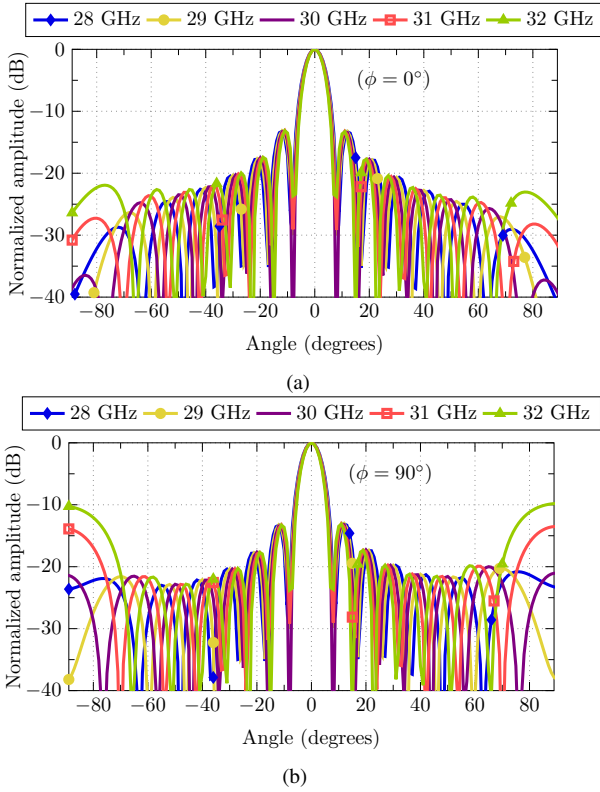


Fig. 6: Diagrama de radiación simulado RHCP: (a) Plano  $\phi=0^\circ$ ; (b) Plano  $\phi=90^\circ$ .

divisores de potencia para maximizar la adaptación de la señal. Además, el GGW cruza en diagonal desde el puerto de entrada hasta el primer divisor de potencia para alimentar todos los elementos en fase y también aprovechar el limitado espacio disponible. En la parte derecha de la Fig. 5, se muestra un despiece de todas las capas que componen la celda básica: Red de alimentación GGW, ranuras y polarizador.

A continuación se muestran algunos resultados preliminares. En la Fig. 6 se muestran los diagramas de radiación en los planos XZ e YZ. Los diagramas de radiación corresponden a un array de  $8 \times 8$ . En la simulación se han utilizado condiciones de contorno periódicas alrededor de la celda unidad de  $2 \times 2$  (Fig. 5). Se observa una gran estabilidad de los diagramas de radiación y una perfecta concordancia con una iluminación uniforme en ambos cortes. Naturalmente, a medida que aumenta la frecuencia aparecen lóbulos de difracción en el plano  $\phi=90^\circ$  (plano YZ), sin embargo esto podría mitigarse utilizando estrategias similares a las utilizadas en [13], [17], [21]. Además, hay que tener en cuenta que el ancho de banda de 4 GHz mostrado, corresponde a un 13.3% de ancho de banda relativo.

La Fig. 7 muestra la relación axial (AR) del array simulado. Destaca la pureza de la polarización circular a 30 GHz. Además, en la figura aparecen dos zonas sombreadas. El área central limita el rango de frecuencias con una relación axial inferior a 1,5 dB. Las zonas sombreadas de los bordes indican que se obtiene una AR inferior a 3 dB para toda la banda de frecuencias de funcionamiento (28 a 32 GHz). Finalmente, el coeficiente de reflexión se presenta en la Fig. 8. En este caso

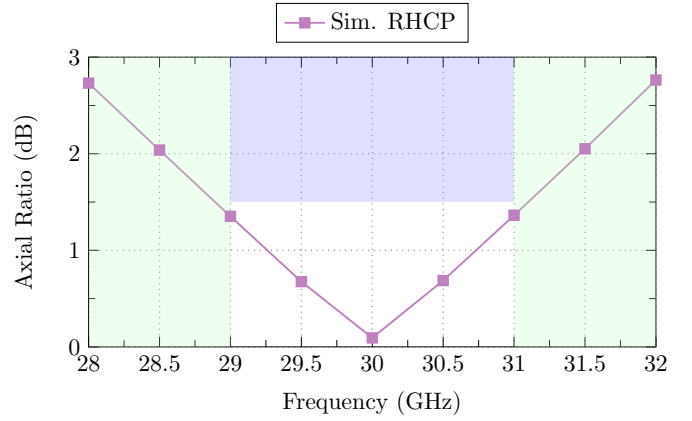


Fig. 7: Relación axial simulada.

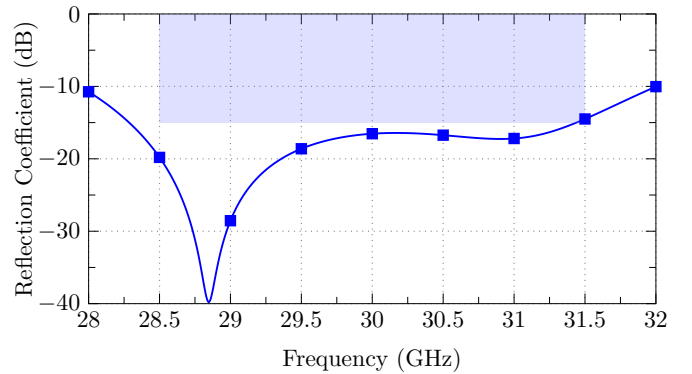


Fig. 8: Coeficiente de reflexión simulado.

la zona donde el  $S_{11}$  es inferior a  $-15$  dB está sombreada desde 28,5 GHz hasta 31,5 GHz, siendo inferior a  $-10$  dB en toda la banda de trabajo.

#### IV. CONCLUSION

Se ha presentado un elemento impreso en forma de grano de café, destinado a transformar el campo radiado con polarización lineal de un array de ranuras en uno con polarización circular, en la banda Ka. Se explica el comportamiento de las corrientes en el polarizador, para describir su buen rendimiento con un ancho de banda de relación axial de 3 dB superior al 13%. Además, se utiliza una celda unidad implementada en tecnología Gap Waveguide para alimentar el polarizador. La red GGW de tipo candelabro empleada puede ampliarse para alimentar arrays más grandes. El polarizador puede ser una buena solución de bajo coste y fácil integración en FPAs con restricciones de altura y peso.

#### ACKNOWLEDGMENT

Este trabajo ha sido apoyado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades con el proyecto PID2019-107688RB-C22.

## REFERENCES

- [1] K. X. Wang and H. Wong, "A wideband millimeter-wave circularly polarized antenna with 3-d printed polarizer," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 3, pp. 1038–1046, 2017.
- [2] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and B. Bernardo-Clemente, "Full-metal k-ka dual-band shared-aperture array antenna fed by combined ridge-groove gap waveguide," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 7, pp. 1463–1467, 2019.
- [3] D. Sánchez-Escuderos, J. I. Herranz-Herruzo, M. Ferrando-Rocher, and A. Valero-Nogueira, "Mechanical phase shifter in gap-waveguide technology," in *2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2020, pp. 1–5.
- [4] T. Makdissy, R. Gillard, E. Fourn, M. Ferrando-Rocher, E. Girard, H. Legay, and L. Le Coq, "'phoenix' reflectarray unit cell with reduced size and inductive loading," *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, vol. 10, no. 12, pp. 1363–1370, 2016.
- [5] J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, M. Ferrando-Rocher, B. Bernardo-Clemente, R. Lenormand, A. Hirsch, J.-L. Almeida, M. Arnaud, and L. Barthe, "Low cost switchable rhcp/lhcp antenna for sotm applications in ka-band," in *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [6] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and A. Berenguer, "V-band single-layer slot array fed by ridge gap waveguide," in *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*. IEEE, 2016, pp. 389–390.
- [7] J. Herranz-Herruzo, M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, R. Lenormand, A. Hirsch, J. Almeida, M. Arnaud, and L. Barthe, "Locomoto satcom terminal: A switchable rhcp/lhcp array antenna for on-the-move applications in ka-band," in *2015 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. IEEE, 2015, pp. 210–211.
- [8] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, D. Sánchez-Escuderos, and A. Valero-Nogueira, "Dual circularly-polarized slot-array antenna in ka-band fed by groove gap waveguide," in *2020 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio Science Meeting*. IEEE, 2020, pp. 421–422.
- [9] M. Ferrando Rocher, "Gap waveguide array antennas and corporate-feed networks for mm-wave band applications," Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València, 2019.
- [10] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, D. Sánchez-Escuderos, and A. Valero-Nogueira, "A novel circularly-polarized t-shaped slot array antenna in ka-band," in *2020 14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2020, pp. 1–3.
- [11] Q. Wu, J. Hirokawa, J. Yin, C. Yu, H. Wang, and W. Hong, "Millimeter-wave planar broadband circularly polarized antenna array using stacked curl elements," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 12, pp. 7052–7062, 2017.
- [12] Q. Zhu, K.-B. Ng, and C. H. Chan, "Printed circularly polarized spiral antenna array for millimeter-wave applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 2, pp. 636–643, 2016.
- [13] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and A. Vila-Jiménez, "Single-layer circularly-polarized ka-band antenna using gap waveguide technology," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 66, no. 8, pp. 3837–3845, 2018.
- [14] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and J. Teniente, "60 ghz single-layer slot-array antenna fed by groove gap waveguide," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 5, pp. 846–850, 2019.
- [15] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, A. Berenguer, and B. Bernardo-Clemente, "Groove gap waveguides: A contactless solution for multilayer slotted-waveguide array antenna assembly," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2016, pp. 1–4.
- [16] M. Baquero-Escudero, A. Valero-Nogueira, M. Ferrando-Rocher, B. Bernardo-Clemente, and V. E. Boria-Esbert, "Compact combline filter embedded in a bed of nails," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 67, no. 4, pp. 1461–1471, 2019.
- [17] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, and M. Baquero-Escudero, "Flatness enhancement of gap waveguide slot arrays using a ribbed-grid plate," in *2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. IEEE, 2018, pp. 419–420.
- [18] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, J. I. Herranz-Herruzo, and D. Sánchez-Escuderos, "Single-layer dual-band subarray for 20/30 ghz using gap waveguide technology," in *2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*. IEEE, 2018, pp. 1097–1098.
- [19] M. Ferrando-Rocher, J. I. Herranz-Herruzo, D. Sánchez-Escuderos, and A. Valero-Nogueira, "8x8 single-layer 30-ghz antenna with a combined ridge-groove gap waveguide network," 2018.
- [20] M. Ferrando-Rocher, A. Valero-Nogueira, and J. I. Herranz-Herruzo, "New feeding network topologies for high-gain single-layer slot array antennas using gap waveguide concept," in *2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2017, pp. 1654–1657.
- [21] A. Berenguer, V. Fusco, M. Ferrando-Rocher, and V. E. Boria, "A fast analysis method for the groove gap waveguide using transmission line theory," in *2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*. IEEE, 2016, pp. 1–5.