

DISEÑO DE SISTEMAS DE PREDISTORSIÓN DIGITAL ADAPTATIVA

J. Cristi⁽¹⁾, F. Anze⁽²⁾

⁽¹⁾⁽²⁾ INTI Electrónica e Informática

⁽¹⁾cristi@inti.gob.ar, ⁽²⁾fanze@inti.gob.ar

Introducción

Los sistemas de comunicaciones (SC) modernos son capaces de generar señales, digitalmente, que transmiten una gran cantidad de datos en muy poco tiempo. Si bien esto satisface la enorme demanda de velocidad que el mercado exige, estas señales poseen una debilidad: un elevado factor de cresta (FC); es decir que tienen altos valores pico en relación a los valores promedio de la señal (ver Fig. 1.a).

Las señales con alto FC son fácilmente distorsionadas por las alinealidades de los amplificadores de potencia (PA) que las transmiten, corrompiéndose así la información que transportan (ver Fig. 1.b).

A su vez el PA del transmisor está diseñado para maximizar su eficiencia, minimizando así

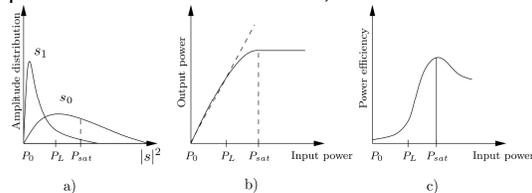


Figura 1: a) Distribución de amplitud de una señal s_1 (con un alto FC) y la misma atenuada s_0 (línea punteada) y la de un PA real (línea continua). b) Transferencia de un PA lineal (línea punteada) y la de un PA real (línea continua). c) Eficiencia del PA

los costos de energía o prolongando la duración de la carga de la batería. Es sabido que los PA obtienen máxima eficiencia cuando operan de forma no lineal (ver Fig. 1-c).

Aunque se esté dispuesto a utilizar un PA de baja eficiencia con tal de gozar de linealidad, se termina requiriendo de un complejo y costoso sistema de refrigeración, y aún así sus componentes deben disipar tanto calor que su vida útil suele ser menor y requiere mayor mantenimiento. Además, al trabajar sólo en la región lineal del PA se terminan sobredimensionando las especificaciones de diseño para que al limitar la operación se alcancen los requisitos necesarios. Todos estos aspectos redundan en un alto costo de fabricación y de mantenimiento, muchas veces inviable para cualquier aplicación comercial.

Esto establece una relación de compromiso aparentemente infranqueable entre la linealidad y la eficiencia del PA en SC de alta velocidad.

La predistorsión digital (DPD) es una técnica de linealización que logra, simultáneamente, mitigar la distorsión no lineal

inherente de los transmisores, y mejorar la eficiencia energética de los mismos.

El método consiste en *distorsionar* digitalmente la señal, antes de ser enviada al transmisor, con una *distorsión inversa* a la del transmisor. De esta forma se puede operar el PA en la zona de máxima eficiencia, cuyas no linealidades serán compensadas, obteniéndose un sistema equivalente lineal y eficiente (ver Fig. 2).

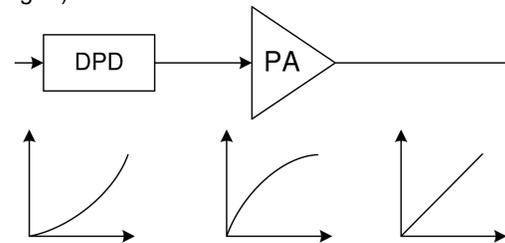


Figura 2: Idea básica de la predistorsión

Objetivos

1. Implementar una plataforma para la simulación, caracterización y comparación de sistemas de DPD para su I+D.
2. Implementar un DPD e integrarlo al transmisor de TV digital desarrollado previamente por la unidad técnica.

Descripción

En concreto esta *distorsión inversa* debe ser exactamente la función inversa a la del PA: si el PA distorsiona según una función $y = f(x)$, la DPD debe ser según la inversa de $y = f(x)$, $x = f^{-1}(y)$. Un DPD distinto sólo empeoraría el problema.

Modelado Suponemos que $f(x)$ es aproximable por una familia de funciones parametrizables por un vector θ conocida como modelo. Los modelos $f(x)$ se clasifican en estáticos y dinámicos. Los últimos, si bien son más complejos, son indispensables para la predistorsión de los PA más modernos.

Aprendizaje A partir de una muestra de datos de los valores de entrada y de salida del PA, se puede encontrar el vector $\hat{\theta}$ que define la $f_{\hat{\theta}}$ que mejor aproxima a $f(x)$ (e.g. utilizando un ajuste por cuadrados mínimos (LS)).

El aprendizaje se puede fragmentar, partiendo los datos en bloques, y repitiendo sucesivos aprendizajes más *pequeños*.

Inversión conociendo $f_{\hat{\theta}}$, podemos encontrar la función inversa $f_{\hat{\theta}}^{-1}$ (la pre-

distorsión). Este paso depende del modelo que hayamos elegido anteriormente, y en algunos casos no existe una solución analítica.

Método indirecto Una alternativa es identificar directamente la inversa de la distorsión $\square_{\square\square}^{-1}$, poniendo los datos de salida a la entrada, y viceversa.

Adaptativo Como las características del PA varían a lo largo del tiempo (e.g. por temperatura, envejecimiento, humedad), la identificación debe repetirse permanentemente. El aprendizaje continuo en bloques (o incluso muestra a muestra) logra adaptarse a estas variaciones en cada iteración.

Implementación

Un DPD adaptativo (DPDa) se podría implementar en un:

muDSP microprocesador optimizado para el procesamiento de señales (DSP).

FPGA dispositivo reconfigurable para generar unidades de hardware digital, capaces de realizar DSP en paralelo.

PC hoy una PC dotada de las interfaces adecuadas puede realizar DSP *on-line*.

ASIC diseño de un circuito integrado de aplicación específica.

Un DPDa debe realizar un procesamiento de gran complejidad entre muestra y muestra. En los SC modernos esta ventana temporal varía entre $0.05\mu s$ y $1\mu s$. Ningún procesador lineal puede realizar la cantidad de operaciones necesarias en ese tiempo. Queda entonces el ASIC y la FPGA. En una instancia de desarrollo el diseño sobre FPGA elimina muchas dificultades de los ASIC y es directamente integrable a mercados de baja producción. Y si se llegara a tratar con un mercado masivo, el desarrollo en FPGA es migrable a un ASIC para minimizar costos. Por lo que la elección final es la FPGA.

Además de la plataforma de procesamiento la implementación requiere un front-end de RF para excitar y muestrear el PA.

Resultados

Ya se simularon y compararon diversos DPDa, con modelos estáticos, utilizando las siguientes métricas:

EM el *error de modelado* es el error entre la mejor predicción del modelo y la salida real del PA. Llamamos **EMM** al **EM mínimo**.

Complejidad de modelo el costo computacional (CC) de predecir la salida del PA en cada instante.

Convergencia la cantidad de muestras necesarias para hallar el modelo con EMM.

Complejidad de aprendizaje CC de cada iteración de aprendizaje.

Ilustrativamente, se presentan algunas

simulaciones realizadas: en la fig. 3 se compara la dispersión en la constelación (ligada al EMM) de un SC OFDM 64-QAM, sin DPD y su evolución con DPDa. En la fig. 4 se muestra la convergencia del EM al EMM de tres algoritmos de aprendizaje distintos: LMS, NLMS y RLS.

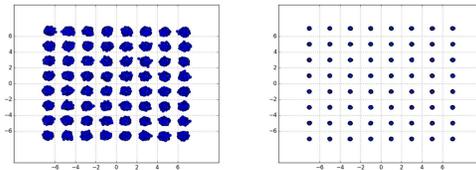


Figura 3: Constelación sin y con DPDa.

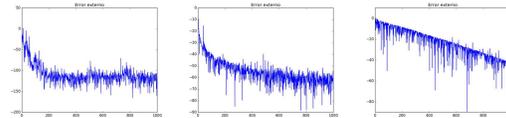


Figura 4: Convergencia de NLMS, RLS y LMS.

Aún resta simular DPDa con modelos dinámicos.

La implementación del DPDa se encuentra en una etapa inicial: Se realizará sobre una FPGA Virtex 6 LX240T, y ya se adquirió una placa de front-end de RF AD-FMCOMMS3 para excitar y muestrear el PA.

Conclusiones

La DPDa es hoy el método que permite transmisores simultáneamente eficientes y de alta velocidad. Tiene un impacto directo sobre el costo de producción, de operación y energético de todos los SC que nos rodean. Su incorporación afecta otras áreas como el diseño de PA que maximizan su eficiencia, sabiendo que sus alinealidades serán compensadas por un DPDa.

La I+D de DPDa no solo es clave para la comprensión de los equipos y sistemas que la unidad tendrá que ensayar en un futuro, sino que es un conocimiento transferible al sector privado, brindándole un alto valor agregado a productos nacionales.

Bibliografía

J. Wood, "Digital pre-distortion of RF power amplifiers," *2017 IEEE Topical Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR)*, Phoenix, AZ, 2017, pp. 1-3. doi: 10.1109/PAWR.2017.7875557