

Non-Uniform Constellations for Next-Generation Digital Terrestrial Broadcast Systems

Manuel Fuentes Muela

Resumen

Hoy en día, el mercado de la televisión digital terrestre (TDT) está caracterizado por la alta capacidad requerida para transmitir servicios de televisión de alta definición y el espectro disponible, el cual se encuentra muy limitado. Es necesario por tanto un uso eficiente del espectro radioeléctrico, el cual requiere nuevas tecnologías para garantizar mayores capacidades. Las constelaciones no-uniformes (NUC) emergen como una de las técnicas más innovadoras para abordar tales requerimientos. Estas constelaciones han sido adoptadas en sistemas de televisión de siguiente generación tales como DVB-NGH (Digital Video Broadcasting - Next Generation Handheld) o ATSC 3.0 (Advanced Television Systems Committee - Third Generation). Las NUC reducen el espacio existente entre las constelaciones uniformes QAM y el límite teórico de Shannon. Con estas constelaciones, los símbolos se optimizan en ambas componentes fase (I) y cuadratura (Q) mediante técnicas geométricas de modelado de la señal, considerando un nivel señal a ruido (SNR) concreto y un modelo de canal específico.

Hay dos tipos de NUC, dependiendo del número de dimensiones reales consideradas en el proceso de optimización, es decir, NUCs unidimensionales y bidimensionales (1D-NUC y 2D-NUC, respectivamente). Las 1D-NUC mantienen la forma cuadrada de las QAM, pero permiten cambiar la distribución entre los símbolos en una componente concreta, teniendo una distancia no uniforme entre ellos. Estas constelaciones proporcionan un mejor rendimiento SNR que QAM, sin ningún incremento en la complejidad en el demapper. Las 2D-NUC también permiten cambiar la forma cuadrada de la constelación, permitiendo optimizar los símbolos en ambas dimensiones y por tanto obteniendo mayores ganancias en capacidad y menores requerimientos en SNR. Sin embargo, el uso de 2D-NUCs implica una mayor complejidad en el receptor, puesto que se necesita un demapper 2D, donde las componentes I y Q no pueden ser separadas.

En esta tesis se analizan las NUC desde el punto de vista tanto de transmisión como de recepción, utilizando bien configuraciones con una antena (SISO) o con múltiples antenas (MIMO). En transmisiones SISO, se han op-

RESUMEN

timizado 1D-NUCs para un rango amplio de distintas SNR, distintos modelos de canal y varios órdenes de constelación. También se ha investigado la optimización de 2D-NUCs rotadas, donde el ángulo de rotación se incluye en la optimización como una variable adicional. Aunque la complejidad no aumenta, la ganancia SNR de estas constelaciones no es significativa. La mayor ganancia por rotación se obtiene para bajos órdenes de constelación y altas SNR. Sin embargo, utilizando técnicas multi-RF como Channel Bonding (CB) o Time-Frequency Slicing (TFS), la ganancia aumenta drásticamente puesto que las componentes I y Q se transmiten en distintos canales RF. En esta tesis, se han estudiado varias ganancias multi-RF representativas de las NUC, con o sin rotación.

En el receptor, se han identificado dos cuellos de botella diferentes en la implementación. Primero, se ha analizado la complejidad en el receptor para todas las constelaciones consideradas y, posteriormente, se proponen dos algoritmos para reducir la complejidad con 2D-NUCs. Ambos algoritmos reducen drásticamente el número de distancias para computar los LLR en el demapper con 2D-NUCs. Además, los dos pueden combinarse en un único demapper. También se ha explorado la cuantización de estas constelaciones, ya que tanto los valores LLR como las componentes I/Q se ven modificados, comparando con constelaciones QAM tradicionales. Además, se ha propuesto un algoritmo que se basa en la optimización para diferentes niveles de cuantización, para una NUC concreta. El algoritmo propuesto reduce el número de bits a utilizar y puede ser utilizado también con QAM.

Igualmente, se ha investigado en detalle el uso de NUCs en MIMO. En esta tesis se han evaluado los distintos parámetros que afectan al proceso de optimización cuando se utilizan sistemas MIMO 2×2 dual polarizados. Se ha incluido la optimización en una sola o en dos antenas, el uso de un desbalance de potencia, factores de discriminación entre antenas receptoras (XPD), el uso de distintos demappers óptimos y subóptimos, métodos de equalización y distintos canales. Asumiendo distintos valores, se han obtenido nuevas constelaciones multi-antena (MA-NUC) gracias a un nuevo proceso de re-optimización específico para MIMO. En el receptor, se ha extendido el análisis de complejidad en el demapper, la cual se incrementa enormemente con el uso de 2D-NUCs y sistemas MIMO. En concreto, la complejidad aumenta exponencialmente con el número de antenas y el orden de constelación. Como alternativa, se propone una solución basada en el algoritmo Soft-Fixed Sphere Decoding (SFSD). El principal problema es que estos demappers no funcionan con 2D-NUCs, puesto que necesitan de un paso adicional en el que las componentes I y Q necesitan separarse. El método propuesto cuantifica el símbolo más cercano utilizando las regiones de Voronoi, permitiendo el uso de este tipo de receptor.