

UNIVERSIDAD DE MÁLAGA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

<TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE
GRADO>

GRADO EN INGENIERÍA DE
SISTEMAS ELECTRÓNICOS

JOSÉ MIGUEL GALEAS MERCHÁN, MÁLAGA, 2021

<TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO>

Autor: <Nombre del autor>

Tutor: <Nombre del tutor>

Cotutor: <Nombre del cotutor> (elimina esta línea si no hay cotutor)

Departamento: <Nombre de departamento>

Titulación: Grado en Ingeniería de <nombre de la titulación>

Palabras clave: Palabras clave (separadas por coma) que describen y caracterizan el tema del trabajo.

Resumen

El resumen debe ser una breve descripción del contexto del proyecto, sus objetivos y los resultados obtenidos. Se recomienda que no exceda esta página.

<TÍTULO DEL TFG EN INGLÉS>

Author: <Nombre del autor>

Supervisor: <Nombre del tutor>

Co-supervisor: <Nombre del cotutor> (elimina esta línea si no hay cotutor)

Department: <Department name>

Degree: Grado en Ingeniería de <nombre de la titulación>

Keywords: Keywords (separated by commas) describing and characterizing the topic of the work.

Abstract

The abstract should briefly describe the project context, goals and obtained results. It should not exceed this page.

En caso de dedicatoria,
se realiza con esta página.
No es obligatoria, si bien es recomendable.

El autor

Agradecimientos

Este apartado es opcional. En él se incluirían los agradecimientos personales y profesionales. Si no los hubiere, debe eliminarse esta página y la siguiente (para ello puedes comentar la línea 48 de A0.MiTFG.tex).

Acrónimos

ETSIT	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación
PFC	Proyecto Fin de Carrera
TFG	Trabajo Fin de Grado
TFM	Trabajo Fin de Máster
UMA	Universidad de Málaga

Índice

Índice

Resumen	III
Abstract	V
Agradecimientos	IX
Acrónimos	XI
Índice	XIII
I Introducción	1
1 Introducción y visión general	3
1.1 Problemática de los accidentes de tráfico	3
1.2 Problemática de las ondas electromagnéticas	3
1.3 Estado del arte	4
1.4 Esquemas de señalización	4
1.5 Estructura del documento	4
1.6 Ámbito de aplicación	4
1.7 Objetivo	5
II Desarrollo del proyecto	7
2 Tecnología empleada	9

2.1	Plataforma hardware	9
2.1.1	Red Pitaya	10
2.2	Plataforma software	10
3	Sistema de comunicación	11
3.1	Estándar de los sistemas VLC	11
3.2	Enlace de luz	11
3.2.1	Transmisor	12
3.2.2	Receptor	12
3.3	Sistema de partida	12
3.4	Mejoras respecto al sistema anterior	12
4	Fundamentos teóricos	13
4.1	Introducción a los esquemas de señalización	13
4.2	Pulsos alternos	14
4.3	Cancelación de pulsos	17
4.4	4-PPM	20
4.5	Comparativa 4-PPM frente a Inverse 4-PPM	21
4.6	Sistemas de decisión	21
4.6.1	Hard-decoding	21
4.6.2	Soft-decoding	22
4.6.3	Algoritmo de Viterbi	23
4.6.4	Comparativa entre los sistemas de decisión	23
5	Implementación	25
5.1	Sistema general	25
5.2	Transmisor	25
5.3	Receptor	25
5.4	Sistema de decisión	26
6	Pruebas	27

III Parte tercera.	29
Conclusiones y líneas futuras	31
IV Apéndices	33
A Manual de uso	35
A.1 Primera sección	35
Bibliografía	37

Índice de figuras

4.1	Diagrama de Trellis de la codificación pulsos alternos.	15
4.2	Codificación con pulsos alternos.	15
4.3	Potencia espectral frente a frecuencia normalizada.	17
4.4	Diagrama de Trellis de la codificación cancelación de pulsos.	18
4.5	Codificación con cancelación de pulsos.	19
4.6	Potencia espectral frente a frecuencia normalizada.	20
4.7	Sistema <i>Hard-decoding</i>	22

Índice de Tablas

Parte I

Introducción

Capítulo 1

Introducción y visión general

Contenido

1.1	Problemática de los accidentes de tráfico	3
1.2	Problemática de las ondas electromagnéticas	3
1.3	Estado del arte	4
1.4	Esquemas de señalización	4
1.5	Estructura del documento	4
1.6	Ámbito de aplicación	4
1.7	Objetivo	5

1.1. Problemática de los accidentes de tráfico

Poner lo que hice para la introducción en proyectos y sistemas. Hablar sobre la necesidad de la aplicación de VVLC para mejorar la seguridad vial.

1.2. Problemática de las ondas electromagnéticas

Poner lo que hice para la introducción en proyectos y sistemas. Sobre todo para contextualizar por qué es mas conveniente no usar esta comunicación.

1.3. Estado del arte

Historia de las VLC y de las VVLC, comentar cuando y como surgió esta idea y hasta donde se ha desarrollado actualmente

También tener un apartado para hablar sobre los proyectos de VVLC que se han tomado de referencia para entender y desarrollar este proyecto. Introducción proyectos y sistemas.

1.4. Esquemas de señalización

Un esquema de codificación estandariza la codificación de caracteres mediante la definición de un método único para representar los datos de tipo carácter.

La señal que se desea enviar no tiene por qué ser transmitida literalmente ya que las señales digitales tienen la posibilidad de ser codificadas para mejorar, por ejemplo, la detección de la misma en recepción y la probabilidad de corregir errores.

Por tanto, el enfoque de este proyecto es desarrollar distintos esquemas de codificación para conocer sus propiedades específicas y sus ventajas e inconvenientes en las comunicaciones por luz visible. Para implementar dichos esquemas se desarrollará tanto el codificador (módulo del transmisor) como el decodificador (módulo del receptor), además de distintos sistemas de decisión para hacer más robusta la transmisión y disminuir la probabilidad de errores.

1.5. Estructura del documento

En esta sección, se explican los posteriores capítulos u otra información adicional que el proyecto contenga.

1.6. Ámbito de aplicación

Desarrollar que el principal ámbito de aplicación del proyecto es en la comunicación vehicular pero que puede tener importancia en otras aplicaciones (cualquier tipo de comunicación)

1.7. Objetivo

El objetivo global de este proyecto es la realización de un sistema de comunicación por luz visible orientado a vehículos a través de una matriz de puertas lógicas programable (FPGA) que actúa de intermediaria entre el transmisor y el receptor, cumpliendo con el estándar IEE 802.15.7-218.

Este objetivo se desarrollará implementando varias técnicas de transmisión y recepción siendo estas la implementación de diferentes esquemas de codificación de la señal, desarrollando el codificador y el decodificador, y la implementación de distintos sistemas de decisión para interpretar la señal recibida antes de decodificarla. Además, el sistema deberá tener robustez ante posibles efectos adversos provocados por las condiciones meteorológicas y un rango de alcance lo suficientemente alto para cubrir una distancia considerable entre coches.

Parte II

Desarrollo del proyecto

Capítulo 2

Tecnología empleada

En este apartado se van a explicar las plataformas o elementos, tanto hardware como software, sobre los que se ha desarrollado este proyecto.

Contenido

2.1	Plataforma hardware	9
2.1.1	Red Pitaya	10
2.2	Plataforma software	10

2.1. Plataforma hardware

El sistema hardware empleado va a ser un dispositivo FPGA. Una matriz de puertas lógicas programables (FPGA) se define como un dispositivo electrónico programable que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada en el momento, mediante un lenguaje de descripción especializado. La lógica programable puede reproducir desde funciones tan sencillas como las llevadas a cabo por una puerta lógica o un sistema combinacional hasta complejos sistemas en un chip.

2.1.1. Red Pitaya

2.2. Plataforma software

Hablar sobre la plataforma sobre la que se ha programado la fpga (vivado) comentando sus características y sus principales funciones y en que aplicaciones es recomendable su uso. Hablar sobre que el programa en c que es el que ejecuta las transmisiones y recepciones y es el encargado de poner en funcionamiento el enlace además de comprobar los paquetes, etc.

Capítulo 3

Sistema de comunicación

Contenido

3.1 Estándar de los sistemas VLC	11
3.2 Enlace de luz	11
3.2.1 Transmisor	12
3.2.2 Receptor	12
3.3 Sistema de partida	12
3.4 Mejoras respecto al sistema anterior	12

3.1. Estándar de los sistemas VLC

La entidad que realiza el estándar es IEEE 802 que realizó el primer estándar oficial de comunicación por luz visible en 2011 [802.15.7-2011]. Este estándar fue revisado en 2018 y se publicó una segunda versión que es 802.15.7-2018 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 15.7: Short-Range Optical Wireless. [DESARROLLAR MÁS EL ESTÁNDAR]

3.2. Enlace de luz

Para probar el proyecto se parte de un enlace de luz formado por un transmisor y un receptor.

3.2.1. Transmisor

Hablar un poco del transmisor óptico que tiene Salva y de los voltajes.

3.2.2. Receptor

Hablar un poco del receptor óptico que tiene Salva y de los voltajes.

3.3. Sistema de partida

Hablar sobre el proyecto que nos dejó Andrés tanto de las características software como su capacidad de alcance y el enfoque del trabajo de Andrés que era el Desarrollo del filtro adaptado y al final tratar de hilarlo con nuestra implementación para mejorar el sistema. Comentar el mapeo de la señal para ponerla en el rango $[-8192, 8191]$ que nos influye para el hard-decoding y el soft-decoding.

3.4. Mejoras respecto al sistema anterior

Hablar sobre cuales son las mejoras que se han implementado y que es lo que se quiere conseguir con estas mejoras. Las mejoras (Mayor robustez de paquetes y mayor distancia de transmisión) se han conseguido gracias a implementar esquemas de codificación y sistemas de decisión.

Capítulo 4

Fundamentos teóricos

Contenido

4.1	Introducción a los esquemas de señalización	13
4.2	Pulsos alternos	14
4.3	Cancelación de pulsos	17
4.4	4-PPM	20
4.5	Comparativa 4-PPM frente a Inverse 4-PPM	21
4.6	Sistemas de decisión	21
4.6.1	Hard-decoding	21
4.6.2	Soft-decoding	22
4.6.3	Algoritmo de Viterbi	23
4.6.4	Comparativa entre los sistemas de decisión	23

4.1. Introducción a los esquemas de señalización

En el ámbito de la comunicación existen múltiples esquemas de codificación digital con diferentes propiedades como probabilidad de bit, ciclo de trabajo, ancho de banda, etc. A la hora de estudiar un esquema de codificación para hacer su elección hay que tener en cuenta tres aspectos fundamentales, que son:

- Flickering: se define como el cambio de la luz provocado por la conmutación entre encendido y apagado (1 y 0) en intervalos muy cortos. Estos parpadeos, si se producen a una velocidad perceptible por el ojo humano, pueden llegar a ser molestos y causar dolor.

- Rendimiento óptico.
- La capacidad para controlar la atenuación o el dimming, provocado por la variación de la intensidad de la luz, en esquemas de codificación con ancho de pulso de la señal variable.

El estándar de comunicaciones por luz visible IEEE 802.15.7 usa como esquema de señalización la codificación Manchester. Continuando con el estudio de los esquemas de señalización, a continuación, se van a desarrollar otras opciones de esquemas de codificación con características diferentes para estudiar su eficacia e impacto en las comunicaciones por luz visible. Los esquemas a desarrollar son codificación por pulsos alternos, cancelación de pulsos y 4-ppm. También se hará una comparativa de 4-ppm frente a Inverse 4-ppm para comparar sus prestaciones y el efecto de transmitir mayor cantidad de “unos” que de “ceros”.

Es importante destacar que en un primer momento también se planteó el desarrollo de codificación 4-PWM pero se descartó su implementación debido a su escasa capacidad para controlar el dimming. Esto provocaba que la intensidad de la luz fluctuara mucho a lo largo de una transmisión siendo perceptible y molesto para el ojo humano.

4.2. Pulsos alternos

El primer esquema de codificación desarrollado es pulsos alternos. Este esquema se puede considerar como una versión de la codificación Manchester pero añadiendo tiempos de silencio. Estos tiempos de silencio añadidos en la transmisión se emplean para diseñar formatos OOK con memoria mediante el uso de la alternancia de posición de pulsos. Lo que proporciona una mejora notable en el rendimiento y una configuración del espectro favorable. Este formato de pulsos alternos tiene un ciclo de trabajo bajo, lo que provoca que esta codificación sea ventajosa en términos de modulación de intensidad y detección directa. En este esquema, utilizamos los tiempos de silencio y los pulsos alternos para modificar las estadísticas de la secuencia de amplitud con respecto a las estadísticas de la secuencia de mensajes.

De esta manera, el bit de información '0' siempre se codifica con la ausencia de pulso '00', mientras que el bit '1' se representa con un pulso que va variando su posición con cada transmisión del '1'. Gracias a aplicar este esquema, se reduce el número de pulsos transmitidos en otros esquemas de señalización como Manchester o Miller.

La figura 4.1 representa el diagrama de Trellis de este esquema de codificación tal y como se ha descrito anteriormente. Este modelo consiste en dos estados, imprescindibles para la alternancia de pulsos. Lo más destacable del diagrama es que siempre que se codifica un '0' nos mantenemos en el mismo estado y siempre que se codifica un '1' cambiamos de estado para realizar la alternancia de pulsos. Será en el momento de cambio de estado cuando codifiquemos el pulso correspondiente que dependerá del estado al que se transicione.

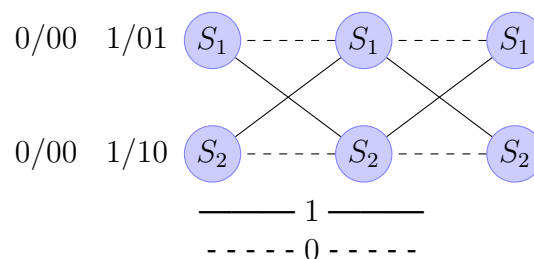


Figura 4.1: Diagrama de Trellis de la codificación pulsos alternos.

El esquema de señalización resultante se muestra en la figura 4.2.

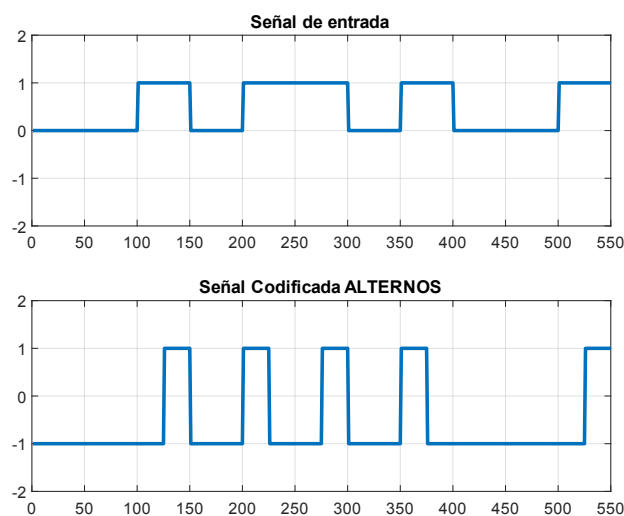


Figura 4.2: Codificación con pulsos alternos.

En dicha figura se observa perfectamente el funcionamiento de este esquema de señalización. En la parte superior de la figura se encuentra la trama pseudo-

aleatoria y abajo su codificación en la que se muestra como los pulsos alteran en cada codificación de '1' y que siempre se que codifica un '0' hay ausencia de pulsos. Además, la señal codificada se encuentra entre -1V y 1V lo que implica que ya está preparada para ser transmitida por el canal de luz. La señal codificada trabaja a el doble de frecuencia que la señal de entrada ya que hay transiciones rápidas cuando se transmite un pulso al igual que ocurre con la codificación Manchester que especifica el estándar.

Además, también se observa que el ciclo de trabajo es bajo cuya ventaja, como se ha comentado anteriormente, es que proporciona mayor intensidad de iluminación cuando se transmite un pulso. Sin embargo, también tiene una desventaja que va ligada al flickering. Al transmitir mayor cantidad de '0' que de '1' el transmisor se encuentra más tiempo apagado por lo que el parpadeo es más notable para el ojo humano que en otras codificaciones como Manchester o Miller por lo que se necesitará una frecuencia de transmisión mayor para este esquema de señalización para que el flickering no sea perceptible por el ojo humano y llegue a ser molesto.

Este esquema al tener mayor número de '0' que de '1' se convierte en un esquema no equiprobable, es decir, en un esquema que no tiene la misma probabilidad de transmitir '0' que '1'. Es importante realizar los cálculos correspondientes para conocer la probabilidad exacta de cada bit para conocer el ciclo de trabajo y el efecto que provoca en el receptor óptico la no equiprobabilidad.

Se han estudiado sus prestaciones para tener una idea de cómo funciona este esquema. El funcionamiento depende del sistema de decisión que se aplique (estos sistemas de explican en el apartado 4.6) pero es bueno tener una visión de su tasa de error de bit. La figura x muestra la tasa de error de bit (BER) en función de la relación señal a ruido (SNR) de este esquema de señalización aplicando *soft-decoding* como sistema de decisión.

Seguidamente, podemos calcular la densidad de potencia espectral (PSD) de la codificación propuesta aplicando la siguiente fórmula.

La densidad de potencia espectral obtenida a través de los cálculos anteriores se muestra en la figura 4.3

En definitiva, se ha propuesto una nueva técnica de codificación basada en la alternancia de pulsos y en la ausencia de los mismos para modificar las estadísticas de la secuencia de amplitud con respecto a las estadísticas de la secuencia de mensajes llevando a una mejora notable para el formato OOK con un rendimiento óptimo.

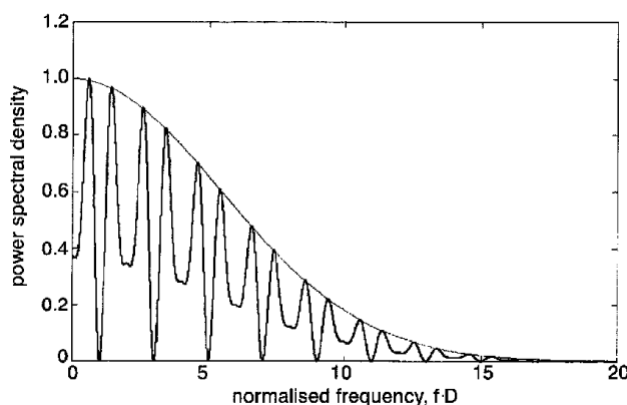


Figura 4.3: Potencia espectral frente a frecuencia normalizada.

4.3. Cancelación de pulsos

Tras el desarrollo de la codificación por pulsos alternos y de haber visto mejora en términos de BER, la ventaja proporcionada por modificar las estadísticas de la secuencia no se explotan completamente ya que la técnica de señalización no presenta ninguna mejora respecto a la relación de potencia óptica de pico a promedio (PAOPR), y por lo tanto aún se pueden conseguir mejores resultados. Siguiendo esta línea, para mejorar el pico de potencia óptica se trata de disminuir el número de pulsos, centrándose en evitar la aparición de más de un pulso de manera consecutiva.

De esta manera, el bit de información '1' se codifica con la ausencia de pulso '00' o con un pulso con su posición modificada, '01'. Mientras que el bit '0' se representa con ausencia de pulso '00' o con presencia de pulso sin modificar su posición '10'. Gracias a aplicar esto, se disminuyen los números de pulsos de una manera bastante notable.

La figura 4.4 representa el diagrama de Trellis de este esquema de codificación tal y como se ha descrito anteriormente. Este modelo consiste en tres estados, donde cada estado es imprescindible para saber como codificar el dato. Lo más importante del trellis es que el primer '1' que se codifica después de un '0' siempre se codifica como ausencia de pulso ('00') y que siempre que el bit de dato es un '0' se transiciona al estado S1 para volver a empezar y codificar el primer '1' como ausencia de pulso. También se observa que después de codificar el primer '1' es cuando se produce el pulso con su posición modificada si se codifica otro '1' o el pulso con su posición sin modificar si se codifica un '0'. Hay que destacar que el estado S3 funciona exactamente igual que el estado S1 pero, sin embargo, es necesario por la naturaleza de los diagramas de Trellis o de Markov,

ya que no es apropiado que se transicione al mismo estado independientemente del bit que se codifique.

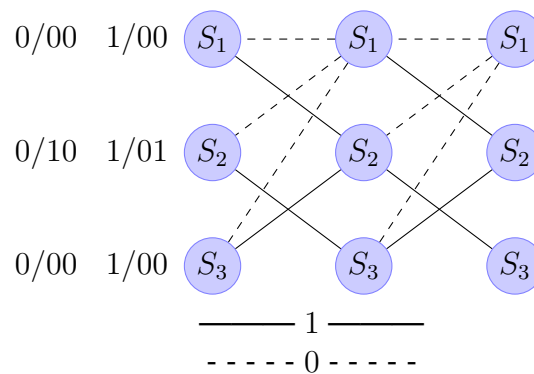


Figura 4.4: Diagrama de Trellis de la codificación cancelación de pulsos.

El esquema de señalización resultante se muestra en la figura 4.5, donde se puede observar una mejora del 50 % en PAOPR. Ya que este formato asegura un período mínimo de tiempo sin transiciones consecutivas.

Además, en dicha figura, se puede apreciar el funcionamiento de este esquema de señalización ya que se comprueba que predomina la ausencia de pulsos. En la parte superior de la figura se encuentra la trama pseudoaleatoria y abajo su codificación. También se observa como la entrada es una señal digital (0 y 1) y como la codificada se encuentra entre $[-1, 1]$ que es el rango de transmisión por el canal de luz.

En este esquema de codificación, la señal codificada tiene el doble de frecuencia de trabajo ya que, al igual que otros esquemas como pulsos alternos o Manchester, hay transiciones rápidas entre '0' y '1'.

En la figura también se observa que el ciclo de trabajo de esta codificación es bajo porque hay pocos pulsos. Esto provoca dos efectos.

- Flickering: al transmitir mayor número de '0' que de '1' la fuente transmisora se encuentra más tiempo apagada que encendida. Esto implica que, a la misma frecuencia de transmisión que otros esquemas de codificación, el flickering en cancelación de pulsos sea mayor ya que es uno de los esquemas que mayor diferencia de probabilidad de bits presenta.
- Potencia óptica: la ventaja de transmitir pocos pulsos es que estos se pueden transmitir con mayor potencia ya que el transmisor está la mayor parte del tiempo sin transmitir.

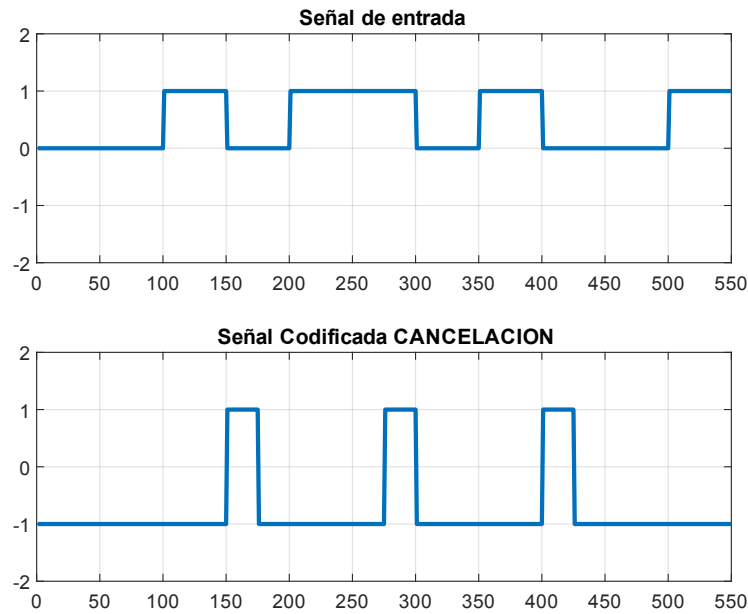


Figura 4.5: Codificación con cancelación de pulsos.

Como se ha explicado anteriormente, este esquema prioriza la ausencia de pulsos por lo que también es un esquema no equiprobable (no tiene la misma probabilidad de '0' que de '1'), aunque en mayor medida que en pulsos alternos ya que en este hay mayor presencia de '0'. Para saber cuales son sus probabilidades exactas hay que realizar los cálculos correspondientes. Este cálculo es imprescindible para, además de conocer el ciclo de trabajo, conocer el efecto que produce en el receptor de luz.

Al igual que para pulsos alternos, se han estudiado sus prestaciones en función de varios sistemas de decisión. Estos sistemas se explicarán en el apartado 4.6 pero es oportuno tener una referencia de su tasa de error de bit para tener una idea inicial de sus prestaciones. Para ello, la figura x muestra la tasa de error de bit de este esquema para una trama pseudoaleatoria aplicando *soft-decoding* como sistema de decisión.

A continuación, podemos calcular la densidad de potencia espectral (PSD) de la codificación propuesta aplicando la siguiente fórmula.

Por consiguiente, la densidad de potencia espectral obtenida a través de los cálculos anteriores se muestra en la figura 4.6.

En conclusión, este esquema de codificación propuesto basado en la ausencia de pulsos mejora notablemente la codificación de la señal. El aumento de los

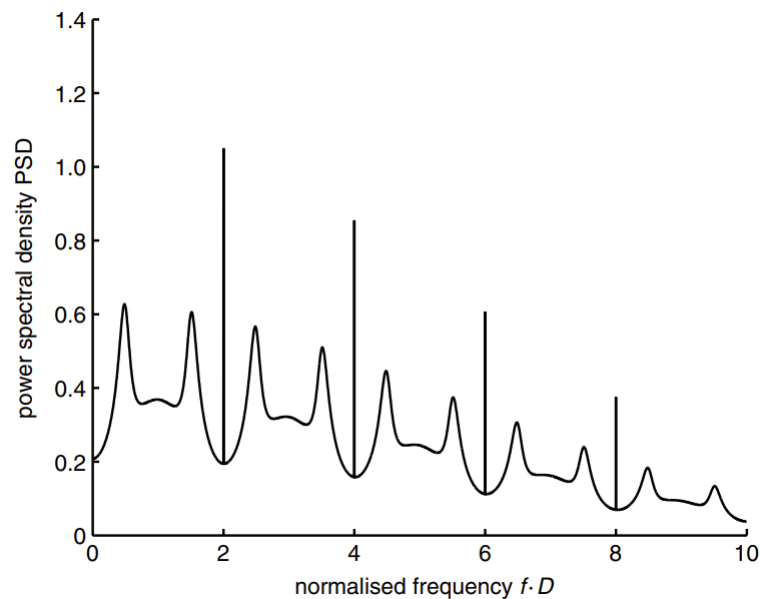


Figura 4.6: Potencia espectral frente a frecuencia normalizada.

tiempos de silencio se utilizan para modificar las estadísticas de la secuencia de amplitud con respecto a las estadísticas de la secuencia de mensajes, lo que permite el aumento de la PAOPR, que es una característica favorable en enlaces ópticos. De esta manera se obtiene una buena compensación entre rendimiento y complejidad requerida.

4.4. 4-PPM

Explayarme mucho más porque hay mucha más información. Comentar teóricamente en que consiste este esquema. Y que apenas está implementado y desarrollado en ningún sitio.

Dibujar y comentar el diagrama de trellis de este esquema para la codificación/decodificación de la señal.

si encuentro algo hablar sobre cual es su espectro y las diferencias respecto a los del estándar

Desarrollar por qué es un esquema no equiprobable haciendo los cálculos correspondientes.

Comentar si se encuentra la ber y sus prestaciones

4.5. Comparativa 4-PPM frente a Inverse 4-PPM

Comparar estos dos esquemas y comentar ventajas e inconvenientes.

4.6. Sistemas de decisión

Hoy en día, una tarea desafiante en la corrección de errores es decodificar las palabras de código que se han recibido a través de canales ruidosos. Si no hay errores, es decir, las palabras de código encuentran una coincidencia exacta, entonces es fácil decodificar los datos. Sin embargo, si no se encuentra una coincidencia, se adoptan diversos mecanismos de decodificación más complejos. Por este motivo, en este apartado, se van a describir los diferentes sistemas de decisión para interpretar la señal recibida de la mejor manera posible que se han implementado. Para ello, se van a desarrollar sus características más representativas así como sus ventajas e inconvenientes.

4.6.1. Hard-decoding

El primer sistema de decisión desarrollado es *hard-decoding*. Este sistema es el más sencillo de todos y por ello suele ser el que se aplica en la mayoría de sistemas de comunicación sencillos que no necesitan de alta robustez frente al ruido.

Para su desarrollo es imprescindible fijar un umbral ya que este método compara los valores de los pulsos recibidos con el valor del umbral fijado. El valor del umbral se determina en la mitad del pulso. Por lo que si el valor del dato es mayor que el valor del umbral se interpreta como un '1' y, de lo contrario, se interpreta como un '0'. La decodificación se realiza siempre igual independientemente de lo cerca que se encuentre el valor del dato del umbral.

Es por este motivo que este sistema de decisión es muy poco robusto frente a picos de ruido y frente a la inclusión de componente de continua que pueda modificar y mover la amplitud de la señal, provocando que el umbral no se encuentre en la mitad que se preveía.

A continuación se muestra la figura 4.7 que compara el funcionamiento de los tres esquemas de codificación desarrollados con el método *hard-decoding*.

En la figura se puede comprobar como, con este sistema, los tres esquemas de señalización funcionan esencialmente igual y que, con relaciones señal a ruido bajas (o negativas), la tasa de error de bit es alta y no sería aceptable para

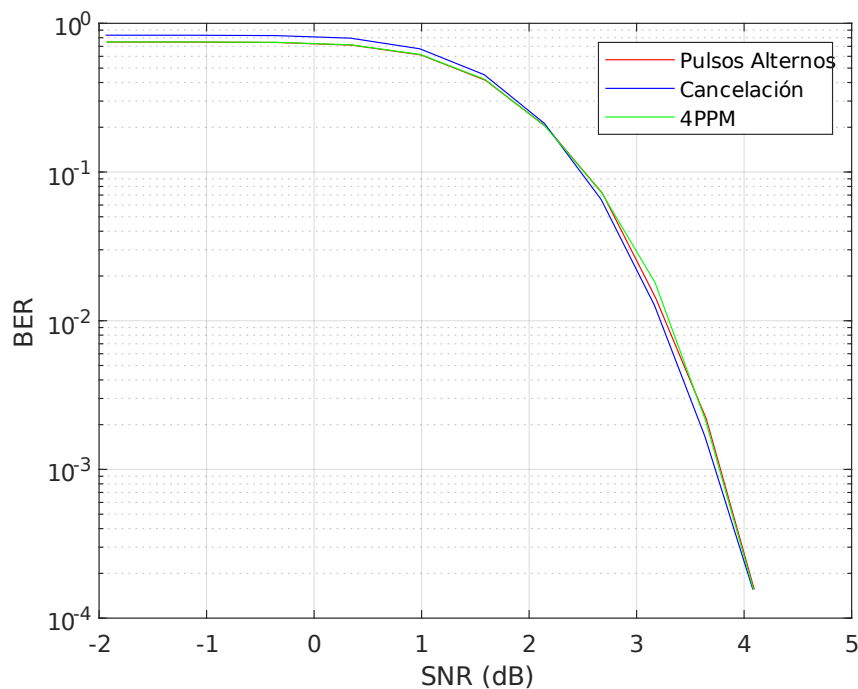


Figura 4.7: Sistema *Hard-decoding*.

cualquier sistema de comunicación por lo que este sistema sólo es apto para comunicaciones directas y cercanas en las que la señal se reciba prácticamente perfecta con muy poco ruido.

Tal y como se ha explicado en este apartado, el sistema *hard-decoding* es un sistema sencillo y rápido de implementar, sin embargo, no es óptimo ni útil para afrontar comunicaciones con un poco de ruido. Por esto, este sistema no se aplica prácticamente nunca por lo que se desarrolla otra técnica de decisión como *soft-decoding* que mejora notablemente las prestaciones.

4.6.2. Soft-decoding

Tras el desarrollo de *hard-decoding* y de haber visto que sus prestaciones no son buenas se ha implementado el sistema de decisión *soft-decoding*. Este sistema es más complejo que el anterior y por ende sus prestaciones son mejores y es el que se aplica en la mayoría de sistemas de comunicaciones para asegurar una correcta recepción de la señal en la mayoría de situaciones y entornos.

El sistema *soft-decoding* opera con un rango de valores, en nuestro caso con

parejas de bits para ver a que opción se parece más la pareja recibida. Este sistema trabaja con los valores en crudo de la señal

4.6.3. Algoritmo de Viterbi

4.6.4. Comparativa entre los sistemas de decisión

A continuación, se va a comparar la tasa de error de bit (BER) de los distintos esquemas de decisión, para cada esquema de codificación, en función de la relación señal a ruido (SNR), que varia con la distancia (disminuyendo la amplitud de la señal), para verificar la mejora que se produce entre cada sistema de decisión.

Para pulsos alternos, la principal mejora se nota con la aplicación del algoritmo de Viterbi.

Para cancelación de pulsos la aplicación del algoritmo de Viterbi es muy importante ya que, como se comentó anteriormente, se descartan muchas opciones al mirar un pasado.

Para 4ppm el uso de soft-decoding implica una gran mejora debido a la posibilidad de buscar el bit mayor ya que solo se recibe un '1' por cuarteto de bits.

Capítulo 5

Implementación

Contenido

5.1 Sistema general	25
5.2 Transmisor	25
5.3 Receptor	25
5.4 Sistema de decisión	26

5.1. Sistema general

Comentar como se relacionan los bloques entre sí y el orden de los mismos para luego entrar en profundidad en los bloques que se han desarrollado.

5.2. Transmisor

-Selector del esquema de codificación (sincronismo manchester y trama en la codificación elegida) -Diagramas de Markov para implementar la codificación

5.3. Receptor

-Recepción del dato serie -Agrupar los datos en parejas o cuartetos -Decodificar con máquinas de estados o identificación del bit mayor.

5.4. Sistema de decisión

(hard-soft decoding, algoritmo de viterbi) -Hard-decoding (umbral en la mitad) -Soft-decoding (cómo se implementa el cálculo de la distancia euclídea) - Algoritmo de Viterbi (que efecto tiene y cómo se implementa la mirada al pasado para descartar opciones que tienen probabilidad 0)

Capítulo 6

Pruebas

Parte III

Parte tercera.

Conclusiones y líneas futuras

Después de todo el desarrollo del proyecto, es pertinente hacer una valoración final del mismo, respecto a los resultados obtenidos, las expectativas o el resultado de la experiencia acumulada.

Esta sección es indispensable y en ella se ha de reflejar, lo más claramente posible, las aportaciones del trabajo con unas conclusiones finales.

Además, considerando también el estado de la técnica, se deben indicar las posibles líneas futuras de trabajo, proponer otros puntos de vista o cualquier otra sugerencia como postámbulo del presente trabajo, para ser considerada por el lector o el tribunal evaluador.

Parte IV

Apéndices

Apéndice A

Manual de uso

Contenido	
A.1 Primera sección	35

A.1. Primera sección

Bibliografía

