

Clasificador de Señales con Ruido y Efecto 'fading'

La clasificación de señales es una tarea crítica en comunicaciones, especialmente en sistemas inalámbricos. Este proceso consiste en identificar el tipo de modulación de una señal recibida basándose en sus características. Sin embargo, las señales reales suelen enfrentarse a desafíos como el **ruido** y los efectos de **fading**, que afectan su calidad.

1. Conceptos Básicos

1. Tipos de Modulación:

- **AM (Amplitud Modulada)**: La amplitud de la portadora varía de acuerdo con la señal moduladora.
- **FM (Frecuencia Modulada)**: La frecuencia de la portadora cambia según la señal moduladora.
- **PSK (Phase Shift Keying)**: La fase de la portadora se ajusta para representar datos binarios.
- **QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)**: Extensión de PSK que codifica más bits por símbolo mediante cambios de fase adicionales.

2. Ruido:

- En un sistema real, las señales siempre están contaminadas con ruido, típicamente ruido **Gaussiano Aditivo** (AWGN). Este ruido tiene una distribución normal y afecta la calidad de la señal recibida.
- El parámetro **SNR (Signal-to-Noise Ratio)** mide la relación entre la potencia de la señal y la del ruido. Una SNR baja indica una señal más degradada.

3. Fading:

- Es la variación de la intensidad de una señal cuando viaja a través del medio de comunicación.
- **Fading Rician**: Ocurre cuando hay una línea de vista dominante entre el transmisor y el receptor junto con componentes reflejados.
- **Fading Rayleigh**: Modelo común cuando no hay línea de vista directa; solo se consideran componentes reflejados.

2. Extracción de Características

Para que un clasificador pueda distinguir entre diferentes tipos de señales, es crucial extraer **características relevantes**. En este proyecto, utilizamos:

1. **Potencia promedio:** Indica la energía total de la señal.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N s[i]^2$$

Donde $s[i]$ es la muestra de la señal.

2. **Frecuencia dominante:** Se calcula usando la **Transformada Rápida de Fourier (FFT)**, identificando la frecuencia con mayor amplitud.
3. **Ancho de banda:** Medida de la dispersión espectral, calculada como el número de componentes de frecuencia significativas.
4. **Entropía espectral:** Representa la complejidad de la señal, utilizando la fórmula:

$$H = - \sum_i p[i] \log_2(p[i])$$

Donde $p[i]$ son las probabilidades normalizadas de los componentes espectrales.

3. Clasificadores

1. **K-Nearest Neighbors (KNN):**
 - Es un clasificador no paramétrico que asigna una clase a una muestra basándose en las k muestras más cercanas en el espacio de características.
 - Distancia típica usada: Euclidiana.
2. **Random Forest:**
 - Modelo basado en múltiples árboles de decisión. Cada árbol genera una predicción, y el resultado final es la clase más votada.
 - Ventaja: es menos sensible al sobreajuste.

4. Comparación de Rendimiento

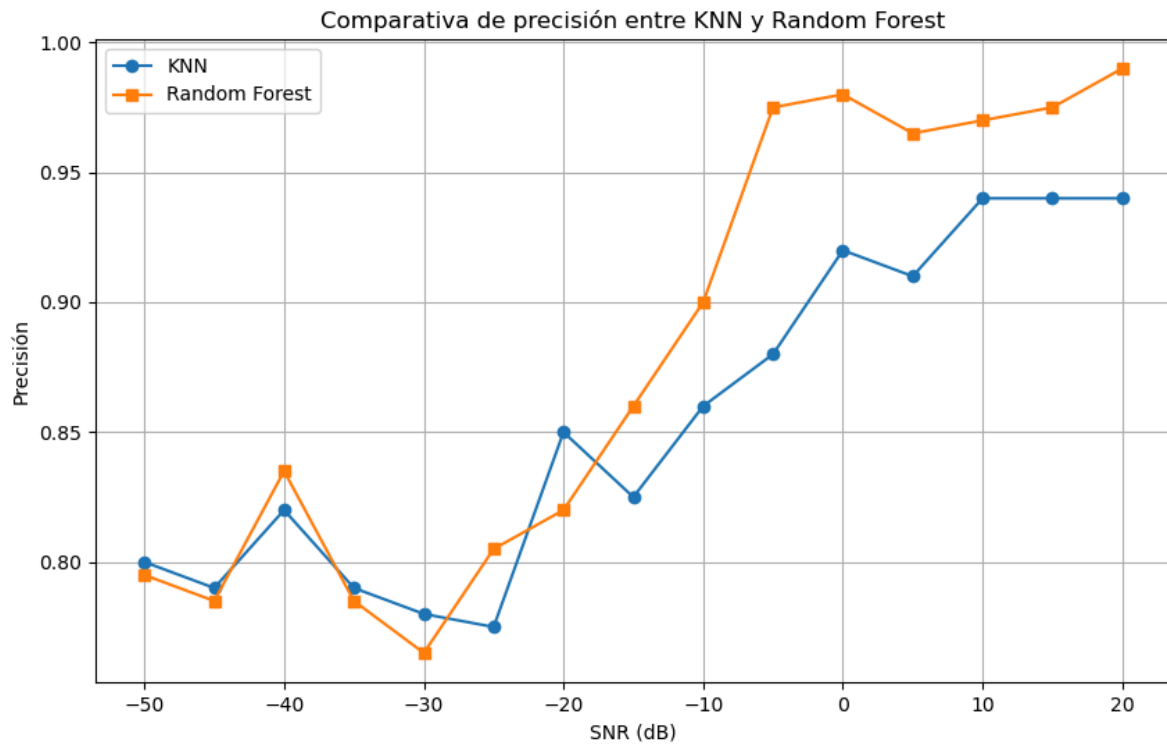
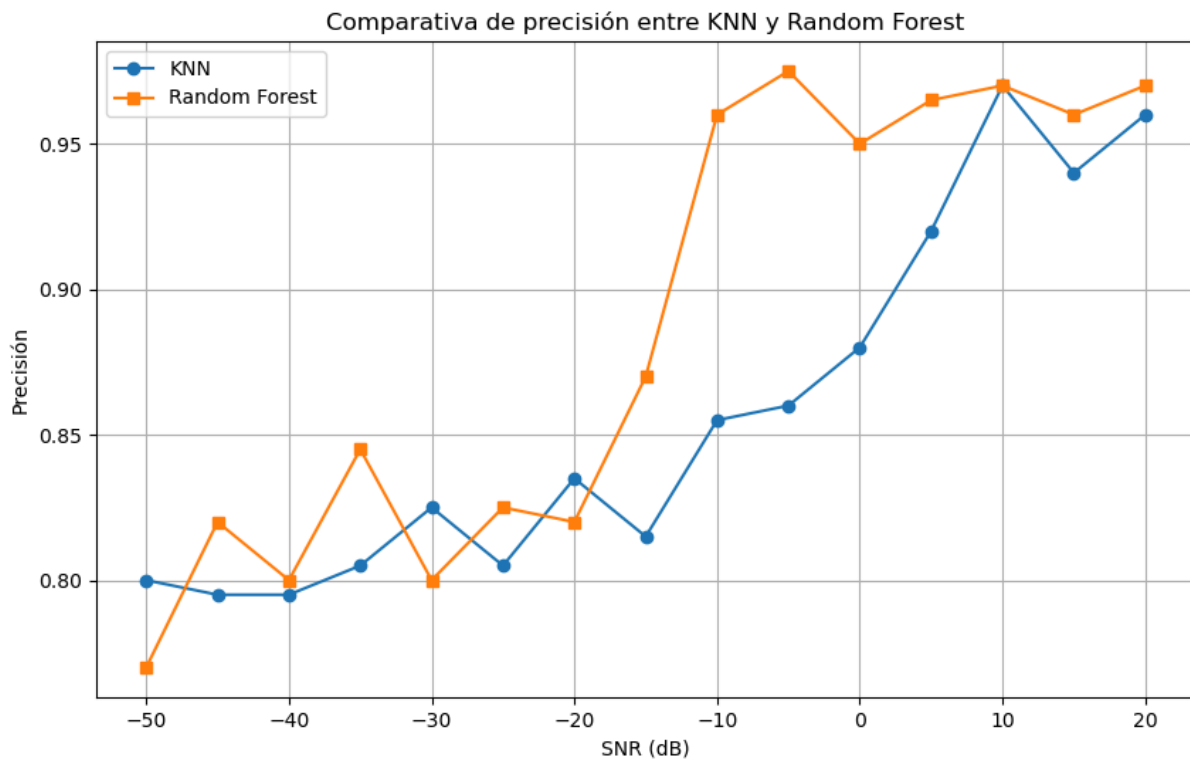
El objetivo es evaluar ambos clasificadores bajo diferentes condiciones de SNR (-50 dB a 20 dB) y fading (Rician y Rayleigh), para entender cómo se degradan sus precisiones a medida que la señal se contamina.

1. **SNR negativo:** La señal es difícil de distinguir del ruido.
 2. **Efecto del fading:**
 - **Rayleigh:** introduce más variabilidad debido a la ausencia de línea de vista.
 - **Rician:** conserva mejor la señal en comparación con Rayleigh.
 3. **Resultados esperados:**
 - Random Forest generalmente supera a KNN porque maneja mejor características complejas.
 - La precisión disminuye con SNR más bajas, pero las señales con ruido Rician suelen ser más fáciles de clasificar que las afectadas por Rayleigh.
-

5. Visualización y Conclusiones

La gráfica generada compara la precisión de ambos clasificadores para cada condición. De esta manera, podemos observar:

1. Cómo el ruido afecta a los clasificadores.
2. Cómo se comportan con los efectos de fading.
3. Qué clasificador es más robusto en condiciones adversas.

Fading de tipo Rayleigh:**Fading de tipo Rician:**

Conclusión

Este análisis permite evaluar la viabilidad de los clasificadores para la identificación de señales en sistemas reales, ayudando a seleccionar el método más robusto en situaciones específicas, como comunicaciones en entornos urbanos o rurales con alto ruido y fading.

Para este caso en específico, podemos ver que el clasificador RandomForest consigue mejores resultados que el KNearestNeighbours. El fading tipo 'Rician' resulta mejor para SNRs bajas y el tipo 'Rayleigh', para altas.