Con el crecimiento de ancho de banda y la disminución de tolerancia de errores y latencia, Los diseñadores de sistemas de comunicación de datos están buscando nuevas formas de ampliar el ancho de banda y mejorar la calidad de la transmisión. Una solución no es realmente nueva, pero ha demostrado ser bastante útil. Se llama corrección de errores hacia adelante (FEC), una técnica que se ha utilizado para permitir una comunicación de datos eficiente y de alta calidad a través de canales ruidosos. Hoy en día, con el aumento de la capacidad de transmisión de datos y la extensión de la distancia, aprendemos más sobre la técnica FEC en redes ópticas.

## ¿Qué es la FEC?

La corrección de errores hacia adelante (FEC) es una técnica de procesamiento de señal digital utilizada para mejorar la confiabilidad de los datos. Lo hace mediante la introducción de datos redundantes, llamado código de corrección de errores, antes de la transmisión o almacenamiento de datos. FEC proporciona al receptor la capacidad de corregir errores sin un canal inverso para solicitar la retransmisión de datos. Como sabemos, a veces las señales ópticas pueden deteriorarse debido a algunos factores durante la transmisión, lo que puede conducir a un juicio erróneo en el extremo del receptor, posiblemente confundiendo la señal "1" con la señal "0" o la señal "0" con una señal "1". Si el número de errores en la transmisión está dentro de la capacidad de corrección (errores discontinuos), el decodificador de canal localizará y corregirá el falso "0" o "1" para mejorar la calidad de la señal.

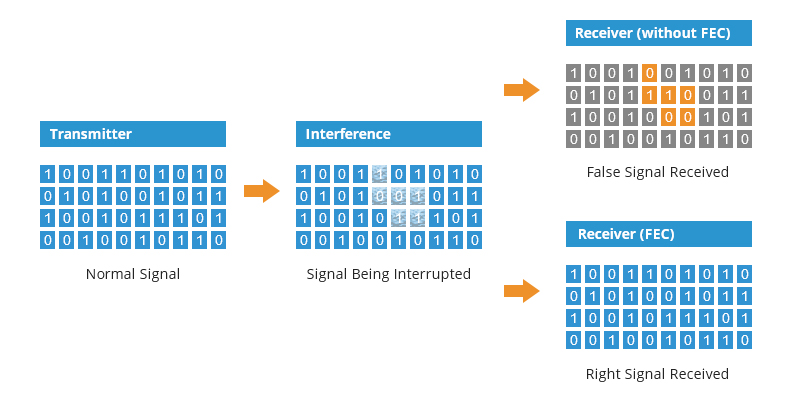


Imagen 1. El principio de funcionamiento de FEC

El desarrollo de la corrección de errores en las comunicaciones ópticas se puede dividir en tres generaciones. La primera generación de FEC representa la primera que se utiliza con éxito en sistemas submarinos y terrestres. A medida que los sistemas WDM maduraron, se instaló un FEC de segunda generación más fuerte en los sistemas comerciales. La llegada de la FEC de tercera generación abrió nuevas perspectivas para la próxima generación de sistemas de comunicación óptica.

**¿Cuáles son los tipos y características de FEC?**

**Tipos**

En la actualidad, las prácticas tecnologías FEC para SDH (Jerarquía digital síncrona) y DWDM (Multiplexación por división de longitud de onda densa) son principalmente las siguientes:

FEC en banda. El FEC en banda es compatible con el estándar ITU-T G.707. Los símbolos supervisados del código FEC se cargan utilizando una parte de los bytes de tara en la trama SDH. La ganancia de codificación es pequeña (3-4dB).

FEC fuera de banda. El FEC fuera de banda es compatible con el estándar ITU-T G.975/709. El FEC fuera de banda tiene una gran redundancia de codificación, una fuerte capacidad de corrección de errores, una gran flexibilidad y una alta ganancia de codificación (5-6dB).

FEC mejorado (EFEC). La FEC mejorada se utiliza principalmente en sistemas de comunicación óptica donde los requisitos de retardo no son estrictos y los requisitos de ganancia de codificación son particularmente altos. Aunque el proceso de codificación y decodificación de EFEC es más complicado y menos aplicable en la actualidad, debido a sus ventajas de rendimiento, se convertirá en una tecnología práctica y se convertirá en la corriente principal de la próxima generación de FEC fuera de banda.

**Caracteristicas**

FEC reduce la cantidad de errores de transmisión, extiende el rango operativo y reduce los requisitos de energía para los sistemas de comunicaciones. FEC también aumenta el rendimiento efectivo de los sistemas, incluso con los bits de verificación adicionales agregados a los bits de datos, al eliminar la necesidad de retransmitir datos corrompidos por ruido aleatorio.

FEC aumenta independientemente la confiabilidad de los datos en el receptor. Dentro de un contexto de sistema, FEC se convierte en una tecnología habilitadora que el diseñador del sistema puede usar de varias maneras. La ventaja más obvia de usar FEC es con respecto a los sistemas de energía limitada. Sin embargo, mediante el uso de señalización de orden superior, también se pueden abordar las limitaciones de ancho de banda. En muchos sistemas inalámbricos, la potencia del transmisor permitida es limitada. Estas limitaciones pueden ser provocadas por el cumplimiento de un estándar o por consideraciones prácticas. FEC hace posible transmitir a velocidades de datos mucho más altas si hay ancho de banda adicional disponible.

**Aplicación de FEC en redes 100G**

En el contexto de las redes de fibra óptica, FEC se utiliza para abordar la SNR óptica (OSNR), uno de los parámetros clave que determina qué tan lejos puede viajar una longitud de onda antes de que necesite regeneración. FEC es especialmente importante a velocidades de datos de alta velocidad, en donde se requieren esquemas de modulación avanzados para minimizar la dispersión y la correspondencia de la señal con la red de frecuencias. Sin la incorporación de FEC, el transporte de 100G se limitaría a distancias extremadamente cortas. Para implementar la transmisión de larga distancia (> 2500 km), la ganancia del sistema debe mejorarse en aproximadamente 2 dB. La actualización de FEC de decisión difícil a decisión blanda llena este vacío de rendimiento.

A medida que ha continuado la presión por velocidades de transmisión cada vez más altas, los esquemas de corrección de errores hacia adelante de decisión suave (SD-FEC) han crecido en popularidad. Aunque esto puede requerir una sobrecarga de bytes de alrededor del 20%, casi tres veces más grande que el esquema de codificación RS original, las ganancias que producen en el contexto de las redes de alta velocidad son sustanciales. FEC que resulta en una ganancia de 1 a 2 dB en una red de 100G, por ejemplo, se traduce en un alcance de 20% a 40% mayor.

**Asuntos que requieren atención para FEC en redes 100G**

¿Qué tener en cuenta al configurar FEC en redes 100G? Se sugiere prestar atención a los siguientes consejos.

**Método de implementación**

Algunos módulos especiales tienen sus propias funciones FEC, como el módulo de conversión FS 100G CFP. Mientras que el módulo óptico 100G QSFP28 se basa principalmente en la configuración de la función FEC en el dispositivo para realizar la corrección de errores, como los interruptores 100G.

**Si el switch admite FEC**

La configuración de FEC en los conmutadores 100G solo se puede lograr si el conmutador lo admite, y no todos los switches lo hacen. Mientras que todos los switches 100G proporcionados por FS admiten FEC.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tipo de switch | Tipo de puerto | Soporte FEC o no |
| S5850-48S2Q4C | 48\*10Gb, 2\*40Gb, 4\*100Gb | Sí (Para 40Gb y 100Gb puertos) |
| S8050-20Q4C | 20\*40Gb, 4\*100Gb | Sí (Para 40Gb y 100Gb puertos) |
| N8500-48B6C | 40\*25Gb, 6\*100Gb | Sí (Para 25Gb y 100Gb puertos) |
| N8500-32C | 32\*100Gb | Sí |

Tabla 1. Especificaciones de los switches FS 100G

Nota: Los switches FS 100G tienen FEC habilitado de manera predeterminada. Si es necesario habilitarlo después de apagarlo, se puede configurar el comando de habilitación FEC.

**Ya sea para habilitar FEC en transceptores QSFP28 100G**

La función FEC no es solo una ventaja, el proceso de corregir el código de error inevitablemente causará cierto retraso en el paquete de datos. Por lo tanto, no todos los transceptores QSFP28 100G lo necesitan. De acuerdo con el protocolo estándar IEEE, no se recomienda habilitar FEC cuando se usan transceptores QSFP28-LR4-100G, excepto que se recomienda habilitarlo. Dado que la tecnología de los módulos ópticos 100G QSFP28 varía de una compañía a otra, la situación no es exactamente la misma. La siguiente tabla explica si se recomienda habilitar FEC cuando se usan FS módulos ópticos [QSFP28 100G](https://www.fs.com/es/c/qsfp28-100g-transceivers-1159).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tipo de transceptor óptico | Descripción | Con FEC |
| [QSFP28-SR4-100G](https://www.fs.com/es/products/48354.html) | Transceptor módulo MTP/MPO 850nm 100m para SMF | No |
| [QSFP28-LR4-100G](https://www.fs.com/es/products/48355.html) | Transceptor módulo MTP/MPO 1310nm 10km para SMF | No |
| QSFP28-PIR4-100G | Transceptor módulo MTP/MPO 1310nm 500m para SMF | No |
| QSFP28-IR4-100G | Transceptor módulo MTP/MPO 1310nm 2km para SMF | Sí |
| QSFP28-EIR4-100G | Transceptor módulo MTP/MPO 1310nm 10km para SMF | Sí |
| QSFP28-ER4-100G | Transceptor módulo MTP/MPO 1310nm 40km para SMF | Sí |

Tabla 2. Especificaciones de los transceptores FS 100G QSFP28

**Consistencia de la función FEC en ambos extremos del enlace**

La función FEC del puerto es parte de la negociación automática. Cuando la negociación automática del puerto está habilitada, la función FEC se determina mediante negociación en ambos extremos del enlace. Si la función FEC está habilitada en un extremo, el otro extremo también debería habilitarla; de lo contrario, el puerto no está activo.

**Apilamiento y FEC**

La configuración del comando FEC no es compatible si el puerto ya está configurado como un puerto de apilamiento físico. Por el contrario, los puertos que se han configurado con comandos FEC no admiten la configuración como miembro de apilamiento físico.

**Conclusión**

La FEC juega un papal muy importante en las comunicaciones de fibra óptica, ya que las redes troncales aumentan su velocidad a 40 y 100G, particularmente cuando se encuentran entornos pobres de señal óptica a ruido. Dichos entornos se vuelven más comunes en entornos de mayor velocidad, a medida que se despliegan más amplificadores ópticos en las redes. Con todos estos desarrollos, FEC continuará jugando un papel en las redes futuras. Para garantizar el funcionamiento normal de la red, se recomienda que preste especial atención a la función FEC en los módulos ópticos, lo que lo ayudará a mejorar el rendimiento en la transmisión de datos.