

Guía de inicio rápido de FST4 y FST4W

Steve Franke, K9AN; Bill Somerville, G4WJS; y Joe Taylor, K1JT

WSJT-X 2.3.0 presenta FST4 y FST4W, protocolos digitales diseñados especialmente para las bandas LF y MF. En estas bandas, sus sensibilidades fundamentales son mejores que en otros modos WSJT-X con las mismas longitudes de secuencia, acercándose a los límites teóricos para sus tasas de rendimiento de información.

FST4 está optimizado para QSO bidireccionales, mientras que FST4W es para transmisiones cuasi-baliza de mensajes estilo WSPR. FST4 y FST4W no requieren la sincronización de tiempo estricta e independiente y el bloqueo de fase de modos como EbNaut.

Los nuevos modos utilizan modulación 4-GFSK y comparten software común para codificar y decodificar mensajes. FST4 ofrece longitudes de secuencia T / R de 15, 30, 60, 120, 300, 900 y 1800 segundos, mientras que FST4W omite las longitudes inferiores a 120 s. Los submodos reciben nombres como FST4-60, FST4W-300, etc., los números adjuntos indican la longitud de la secuencia en segundos. Las cargas útiles de mensajes contienen 77 bits, como en FT4, FT8 y MSK144, o 50 bits para los mensajes de tipo WSPR de FST4W. Los formatos de mensaje que se muestran al usuario son como los de los otros modos de 77 bits y 50 bits en WSJT-X. La corrección de errores hacia adelante utiliza un código de verificación de paridad de baja densidad (LDPC) con 240 bits de información y paridad.

Las transmisiones constan de 160 símbolos: 120 símbolos portadores de información de dos bits cada uno, intercalados con cinco grupos de ocho símbolos de sincronización predefinidos.

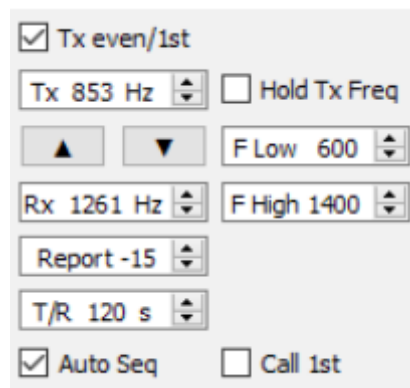
Los parámetros básicos de todos los submodos FST4 y FST4W se resumen en la siguiente tabla. Se midió la sensibilidad de umbral (SNR en un ancho de banda de 2500 Hz que produce un 50% de probabilidad de decodificación) para cada submodo utilizando simulaciones sobre el canal de ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN). Al igual que con otros modos desarrollados recientemente en WSJT-X, una función llamada decodificación a priori (AP) puede mejorar la sensibilidad en varios dB adicionales a medida que la información se acumula durante una sesión operativa estándar mínima de QSO o FST4W.

T/R period (s)	Symbol length (s)	Tone Spacing (Hz)	Occupied Bandwidth (Hz)	FST4 SNR (dB)	FST4W SNR (dB)
15	0.060	16.67	67.7	-20.7	
30	0.140	7.14	28.6	-24.2	
60	0.324	3.09	12.4	-28.1	
120	0.683	1.46	5.9	-31.3	-32.8
300	1.792	0.56	2.2	-35.3	-36.8
900	5.547	0.180	0.72	-40.2	-41.7
1800	11.200	0.089	0.36	-43.2	-44.8

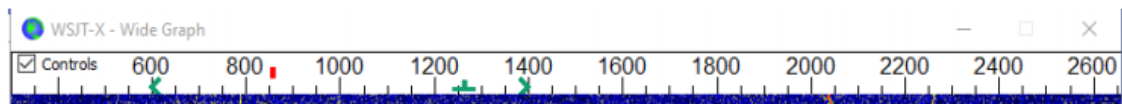
FST4-60 es aproximadamente 1,7 dB más sensible que JT9, en gran parte porque utiliza la detección de bloques de múltiples símbolos cuando es apropiado. Con la decodificación AP en FST4, la diferencia puede ser de hasta 4,7 dB. FST4-120 y las secuencias de mayor longitud son proporcionalmente más sensibles. El FST4W-120 es aproximadamente 1,4 dB mejor que el WSPR estándar y, con sus secuencias de 30 minutos, el FST4W-1800 alcanza un umbral SNR de casi -45 dB. Recomendamos encarecidamente que los usuarios de JT9 y WSPR en las bandas LF y MF deben migrar para usar FST4 y FST4W, en su lugar.

Puede pensar en otras aplicaciones para los nuevos modos más allá de las discutidas aquí. Tenga en cuenta que estos son modos de banda muy estrecha; Lograr las sensibilidades enumeradas en la tabla requiere que las desviaciones del oscilador y los cambios Doppler inducidos por la trayectoria sean menores que el espaciado de tonos, en toda la secuencia. Como ejemplo de una aplicación diferente, el submodo de secuencia corta FST4-15 se ha encontrado muy eficaz en trayectos de dispersión ionosférica en 50 MHz. En el extremo opuesto de la longitud de transmisión, VK7MO y VK7ZBX han tenido un buen éxito al usar FST4W-1800 para comunicación de dispersión óptica sin línea de visión, abarcando caminos obstruidos de hasta 153 km mediante el uso de matrices de LED, lentes Fresnel y foto detectores.

Los operadores familiarizados con WSJT-X encontrarán el uso de FST4 y FST4W sencillo. La mayoría de los controles en pantalla, la secuenciación automática y otras funciones se comportan como en otros modos. Las convenciones de funcionamiento en las bandas LF y MF hacen que sea útil tener controles de usuario adicionales para establecer el rango de frecuencia activo utilizado por el decodificador. Cuando **Archivo** → **Configuración** → **General** → **Decodificación única** no está marcado, las casillas rotuladas **F Low** y **F High** establecen límites de frecuencia superior e inferior para el decodificador FST4.



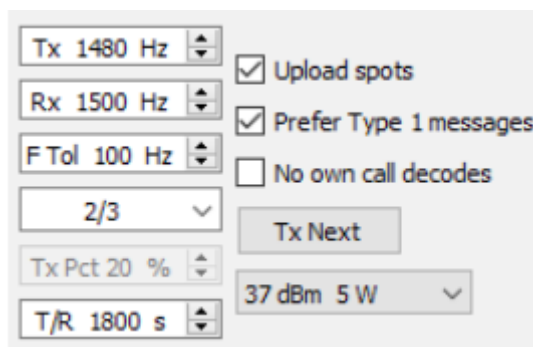
Los límites están marcados por símbolos entre corchetes angulares de color verde oscuro <> en la escala de frecuencia de la cascada/waterfall:



Si la **decodificación única** está marcada, los controles **F Low** y **F High** y los marcadores verdes < > desaparecen, y la decodificación tiene lugar solo en el rango **RxFreq ± FTol**.

Para FST4W, la **frecuencia Rx** predeterminada es 1500 Hz y **F Tol** es 100 Hz, por lo que el rango de decodificación activa es el mismo que para WSPR, 1400 a 1600 Hz. Sin embargo, puede seleccionar diferentes frecuencias centrales y valores de **F Tol** para cumplir con las convenciones de funcionamiento en las bandas de LF y MF.

Un nuevo control desplegable debajo de **F Tol** ofrece un modo de operación por turnos para programar transmisiones FST4W:



Si tres operadores acuerdan de antemano seleccionar las opciones **1/3**, **2/3** y **3/3**, por ejemplo, sus transmisiones FST4W ocurrirán en una secuencia fija sin dos estaciones transmitiendo simultáneamente. La secuencia 1 es la primera secuencia después de las 00:00 UTC. Para un funcionamiento de programación similar a WSPR, debe seleccionar **Aleatorio** con este control.

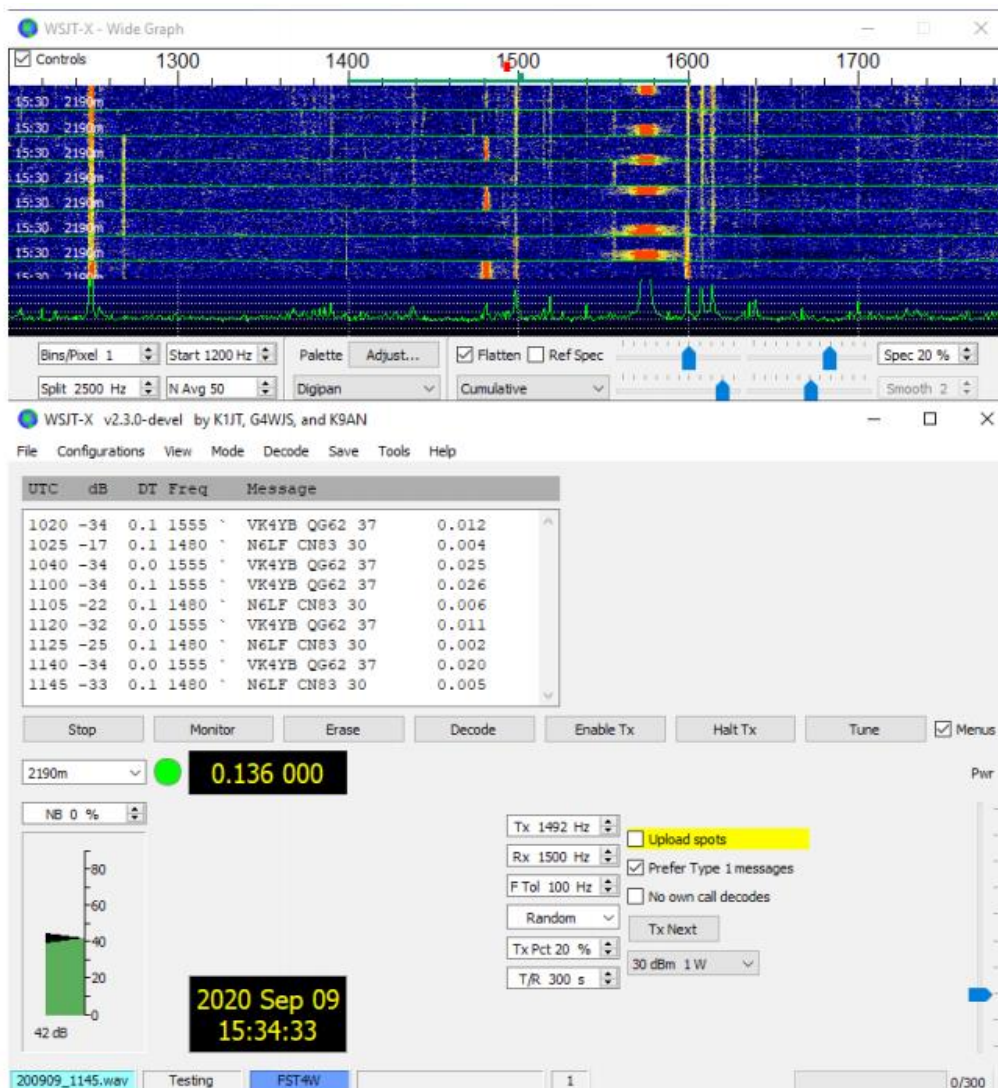
Para ver las frecuencias FST4 y FST4W predeterminadas actualmente sugeridas en el control de cambio de banda desplegable, debe hacer un reinicio por única vez. Vaya a **Archivo** → **Configuración** → **Frecuencias**, luego haga clic con el botón derecho en la tabla **Frecuencias de trabajo** y seleccione **Restablecer**.

La supresión de ruido opcional está disponible y se ha comprobado que es eficaz para manejar el ruido atmosférico en las bandas LF y MF. Un control giratorio etiquetado como **NB nn %** se encuentra en la ventana principal de FST4 y FST4W, justo debajo del control de cambio de banda. Establezca este control en un porcentaje sugerido de muestras de datos que se borrarán. Hemos descubierto que los niveles en el rango del 5 al 15% funcionan bien en condiciones de verano en bandas de LF / MF, pero probablemente querrá experimentar. Los datos que se muestran en la cascada y se guardan en archivos .wav no tienen supresión de ruido aplicada, por lo que puede experimentar después del hecho.

Una función experimental utiliza configuraciones negativas de **NB** para activar un enfoque de "probar todo" para la supresión de ruido: -1% hace que el decodificador intente 0, 5, 10, 15 y 20% de supresión, y -2% intenta 0, 2, 4, ..., 20%. En el modo FST4, las pruebas con porcentajes de supresión distintos de cero están activas solo en el rango de frecuencia **RxFreq ± FTol**. Los ajustes negativos de **NB** pueden ser muy efectivos,

pero ralentizarán significativamente el procedimiento de decodificación.

Como ejemplo de las capacidades de los nuevos modos, la captura de pantalla de la página siguiente muestra las señales del FST4W-300 recibidas en la banda de 2200 m por NO3M (locator EN91WR) el 9 de septiembre de 2020. Las distancias involucradas son 3501 km hasta N6LF y 14,976 km hasta VK4YB. Los números al final de cada línea decodificada se miden en la trayectoria Doppler en Hz. (Para activar esta función, cree un archivo llamado `plotspec` en el directorio de trabajo actual e inicie `WSJT-X` desde la línea de comando allí.) Como regla general, la decodificación requiere que Doppler se propague menos que el espaciado de tonos del submodo. La sensibilidad es mejor cuando la extensión Doppler no es más de 1/8 del espaciado de tonos.



Apéndice A: Formatos de mensaje para FST4 y FST4W

La codificación de origen de los mensajes FST4 se describe en la referencia [1]. Todos los mensajes están codificados en una carga útil de 77 bits. Para evitar transmitir una cadena larga de ceros al enviar mensajes CQ, el mensaje ensamblado de 77 bits se combina con un OR exclusivo bit a bit con la siguiente secuencia pseudoaleatoria antes de calcular los bits de paridad CRC y FEC:

```
010010100101111010001001101101001011000010001010011110010101010110  
11111000101
```

El software receptor aplica este procedimiento OR exclusivo por segunda vez para restaurar la carga útil original de 77 bits.

Se calcula una verificación de redundancia cíclica (CRC) de 24 bits y se agrega a cada paquete de información de 77 bits para crear una palabra de mensaje más CRC de 101 bits. El algoritmo CRC usa el polinomio 0x100065b (hexadecimal) y un valor inicial de cero.

La corrección de errores hacia adelante se logra utilizando un código LDPC (240,101). La matriz del generador tiene 139 filas y 101 columnas. Está definido en el archivo `generator_fst4.dat`. Los valores distintos de cero en la fila i de la matriz especifican cuál de los 101 bits de mensaje más CRC debe sumarse, módulo 2, para producir el i^{th} bit de verificación de paridad. Los 139 bits de paridad se agregan a los 101 bits de mensaje más CRC para crear una palabra de código de 240 bits.

Los pares de bits de palabras de código se asignan a índices de tono con valores en el rango 0 - 3 utilizando la codificación Gray dada en la tercera columna de la Tabla 3, en la referencia [1]. La secuencia resultante de 120 símbolos de canal, a_n , $n = 0, 1, 2, \dots, 119$ se divide en 4 grupos:

$$M_A = \{a_0, a_1, \dots, a_{29}\}$$

$$M_B = \{a_{30}, a_{31}, \dots, a_{59}\}$$

$$M_C = \{a_{60}, a_{61}, \dots, a_{89}\}$$

$$M_D = \{a_{90}, a_{91}, \dots, a_{119}\}.$$

La sincronización se logra incorporando cinco palabras de sincronización de 8 símbolos en la trama transmitida. Las palabras de sincronización se definen de la siguiente manera:

$$S_1 = \{0, 1, 3, 2, 1, 0, 2, 3\}$$

$$S_2 = \{2, 3, 1, 0, 3, 2, 0, 1\}.$$

El conjunto completo de 160 símbolos de canal se ensambla como la secuencia

$$b_n = \{S_1, M_A, S_2, M_B, S_1, M_C, S_2, M_D, S_1\}.$$

La codificación de origen de los mensajes FST4W se describe en la referencia [2]. Todos los mensajes están codificados en una carga útil de 50 bits. Se calcula una verificación de redundancia cíclica (CRC) de 24 bits y se agrega a cada paquete de información de 50 bits para crear una palabra de mensaje más CRC de 74 bits. El algoritmo CRC usa el polinomio 0x100065b (hexadecimal) y un valor inicial de cero.

La corrección de errores hacia adelante se logra usando un código LDPC (240,74). La matriz del generador tiene 166 filas y 74 columnas. Está definido en el archivo `generator_fst4w.dat`. Los valores distintos de cero en la fila i de la matriz especifican cuál de los 74 bits de mensaje más CRC debe sumarse, módulo 2, para producir el i^{th} bit de verificación de paridad. Los 166 bits de paridad se agregan a los 74 bits de mensaje más CRC para crear una palabra de código de 240 bits.

La palabra de código de 240 bits se asigna a 160 símbolos de canal mediante el procedimiento descrito anteriormente para FST4.

Referencias:

[1] Steve Franke, K9AN, Bill Somerville, G4WJS, Joe Taylor, K1JT “The FT4 and FT8 Communications Protocols,” *QEX*, July/August 2020, pp. 7-17.

[2] Steve Franke, K9AN, Bill Somerville, G4WJS, Joe Taylor, K1JT, in preparation.