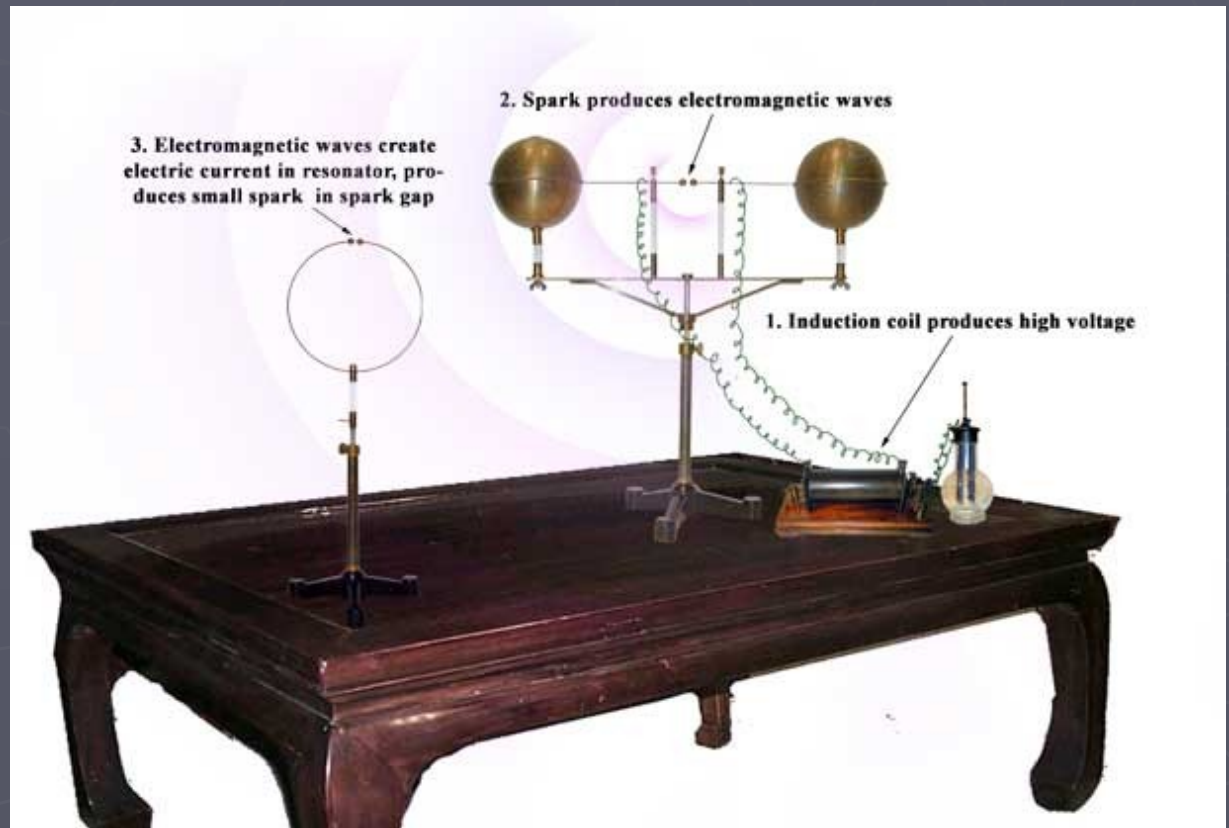


Sistemas de Radar y Procesamiento en Tiempo Real

Historia del Radar (muy breve)

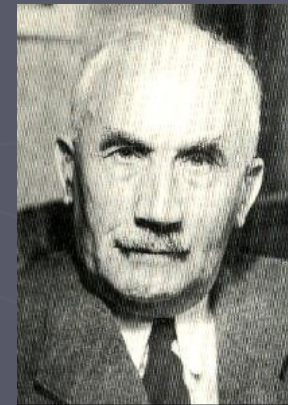
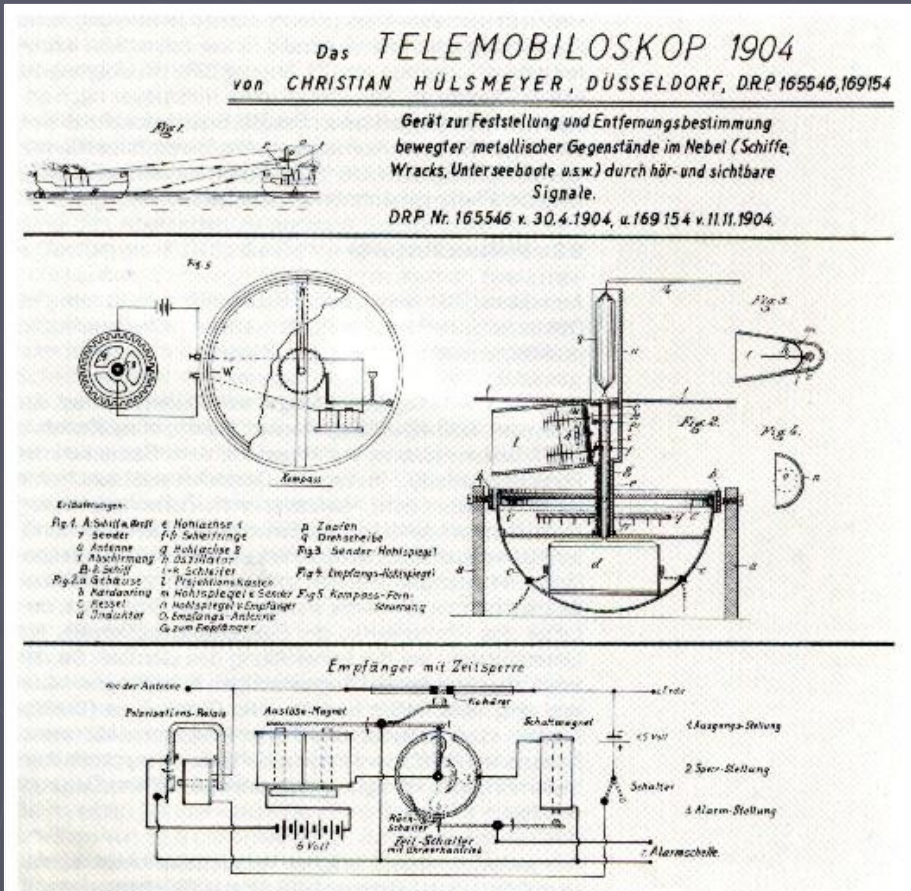
En 1864 James Clerk Maxwell (the only real genius) postulo la existencia de radiación electromagnética

En 1888 Heinrich Hertz demostró la radiación electromagnética con este equipo



Primer Radar

En 1904 el Alemán Huelsmeyer detecta buques a 3Km



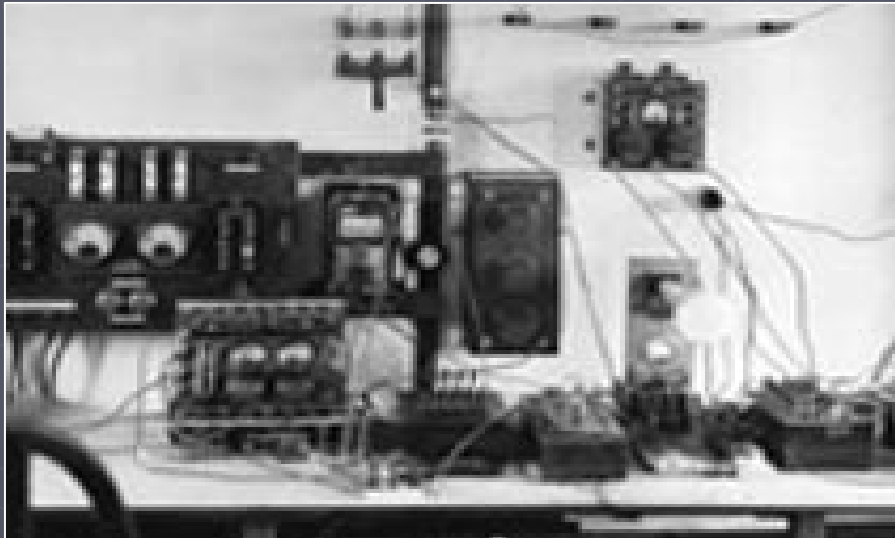
Huelsmeyer's Telemobiloscope

Principios de los radares modernos

En 1935 Randall y Boot de la Universidad de Birmingham inventan el magnetrón que permite producir mucha potencia a frecuencias altas – 100KW a 2MW y 1,000 a 10,000MHz

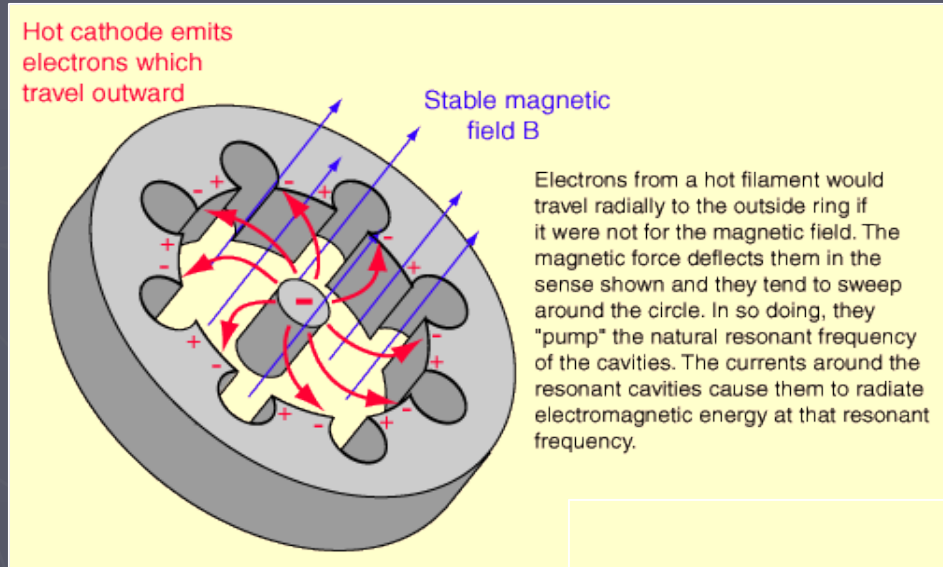


Robert Watson Watt trabaja por un premio de 1000 libras por la primer persona que mata un cordero a 100m usando un 'rayo de la muerte'. Logro detectar aviones a 100Km pero el cordero siguió vivo!!

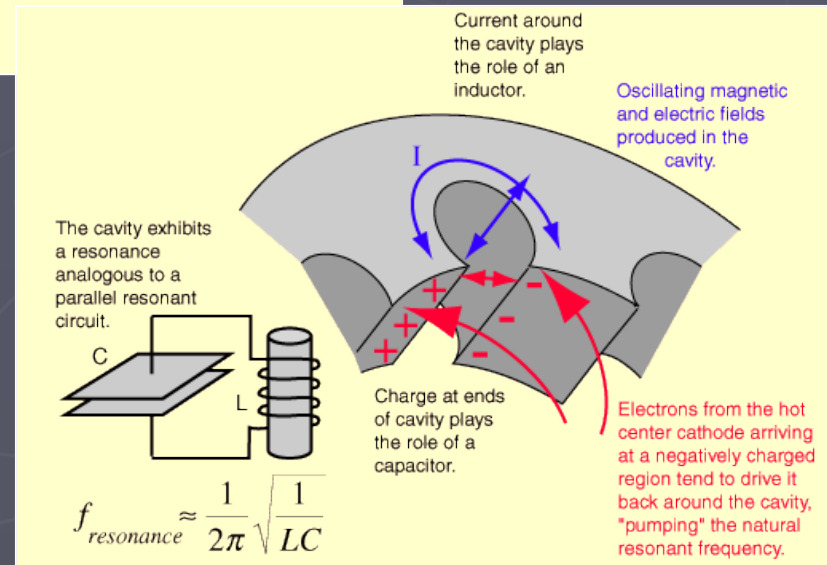


El Magnetron

El magnetron fue el principal elemento de transmisión de energía electromagnética desde 1940 hasta el década de los 80



Aun que el magnetron puede producir mucha potencia – hasta 3MW – sufre de un gran defecto, su transmisión no es coherente. Es decir, las fases de las transmisiones son desconocidas y aleatorias. Además, la frecuencia de transmisión puede variar sobre rangos pequeños con variaciones en la fuente de poder y VSWR de la carga



Frecuencias de operación de los Radares

Standard Radar Bands ¹		ECM Bands ²	
Band Designation ³	Frequency Range (MHz)	Band Designation	Frequency Range (MHz)
HF	3-30	Alpha	0-250
VHF ⁴	30-300	Bravo	250-500
UHF ⁴	300-1,000	Charlie	500-1,000
L	1,000-2,000	Delta	1,000-2,000
S	2,000-4,000	Echo	2,000-3,000
C	4,000-8,000	Foxtrot	3,000-4,000
X	8,000-12,000	Golf	4,000-6,000
K _u	12,000-18,000	Hotel	6,000-8,000
K	18,000-27,000	India	8,000-10,000
K _a	27,000-40,000	Jullett	10,000-20,000
millimeter ⁵	40,000-300,000	Kilo	20,000-40,000
		Lima	40,000-60,000
		Mike	60,000-100,000

¹ From IEEE Standard 521-1976, November 30 1976.
² From AFR 55-44 (AR105-96, OPNAVINST 3420.9B, MCO 3430.1), October 27, 1964.
³ British usage in the past has corresponded generally but not exactly to the letter-designated bands.
⁴ The following *approximate* lower frequency ranges are sometimes given letter designations: P-band (225-390 MHz), G-band (150-225 MHz), and I-band (100-150 MHz).
⁵ The following *approximate* higher frequency ranges are sometimes given letter designations: Q-band (36-46 GHz), V-band (46-56 GHz), and W-band (56-100 GHz).

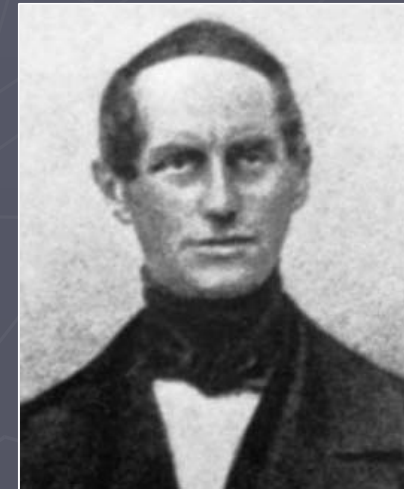
Dos personas muy importantes en el mundo del radar



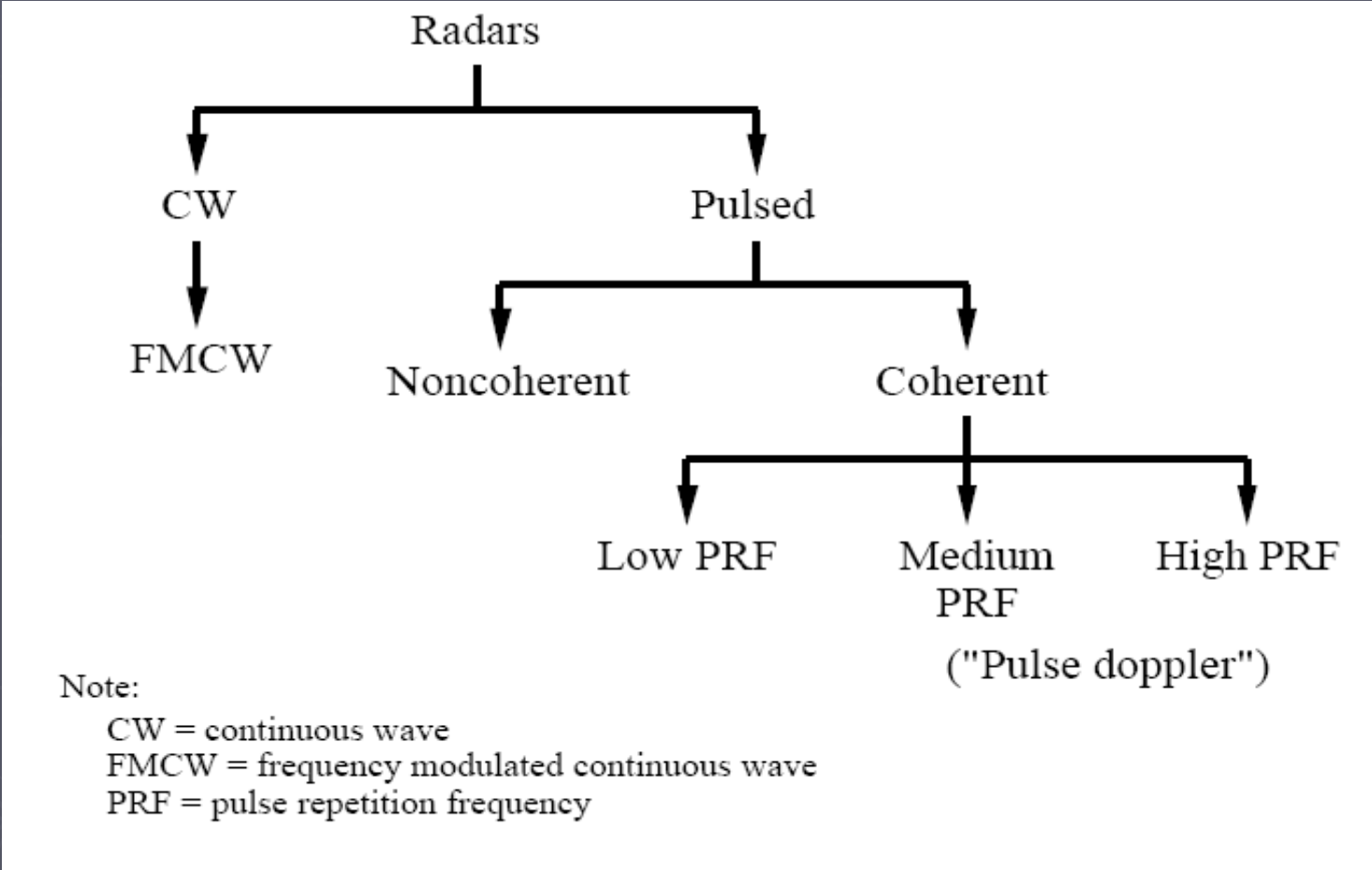
Jean Baptiste Joseph Fourier 1768 – 1830

Aunque tiene cara de farrero, creó las series de Fourier, fundamento de gran parte del procesamiento digital que se aplica en un radar

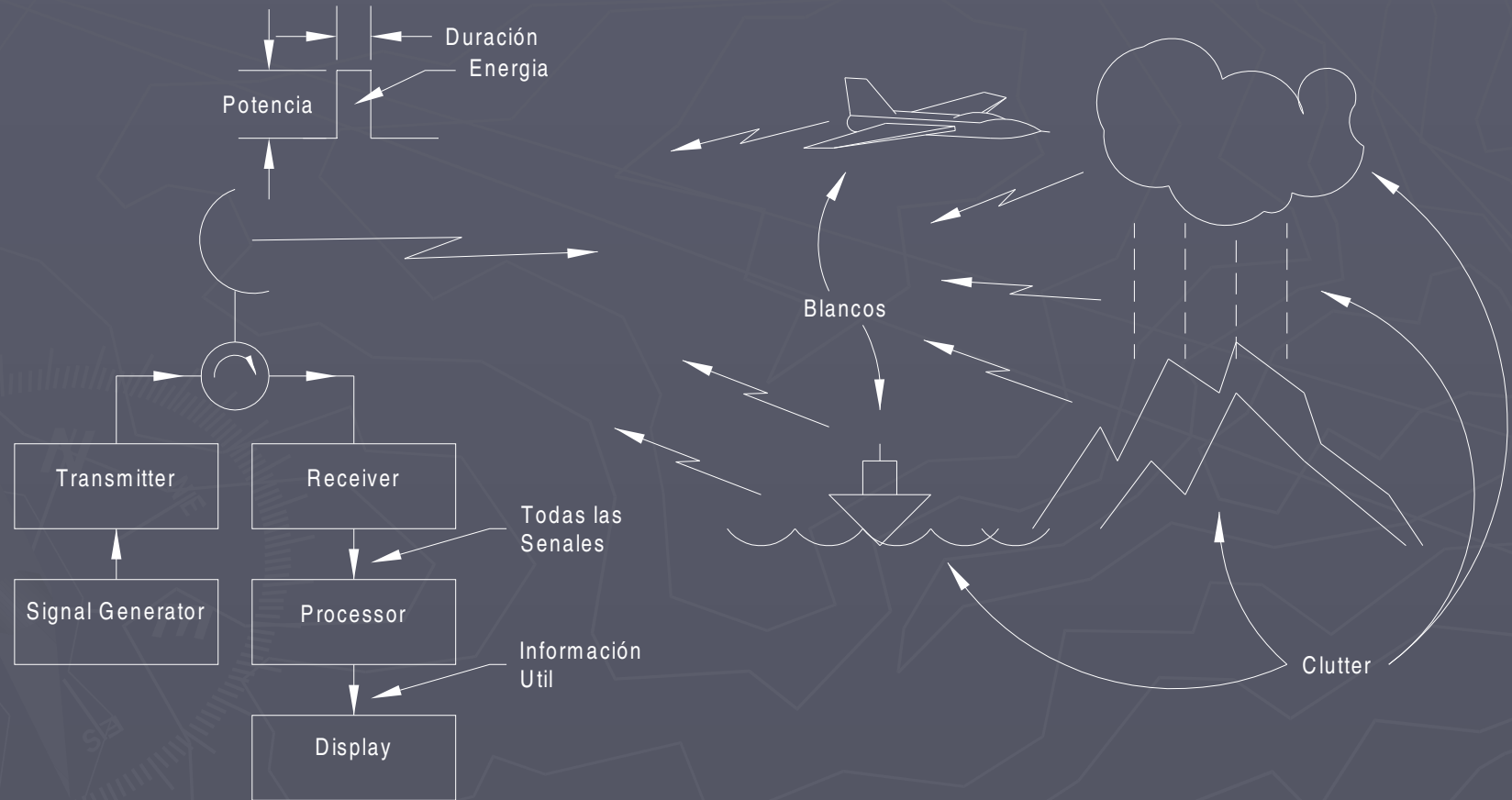
Johann Christian Andreas Doppler 1803 – 1853, descubridor del efecto Doppler que permite, entre otras cosas, discriminar entre blancos fijos y móviles.



Clasificación de los Radares por Forma de Onda Transmitido



Principio Básico de un Radar de Vigilancia



Radars Coherentes con TWT de 50KW diseñado y fabricado por Linktronic

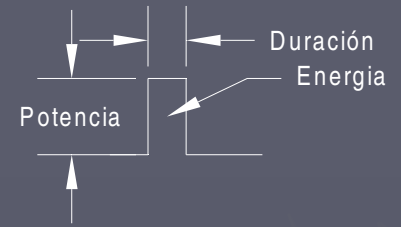


Este radar transmite pulsos de hasta 96 μ s que se comprimen a 250ns. Detecta aviones sobre 300Km de distancia



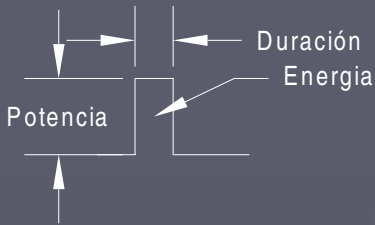
Origen y el porqué de la solución

Energía y Duración



- ▶ La energía recibida desde un blanco determinado es proporcional a la energía transmitida
- ▶ El límite de la detección es cuando la energía recibida de un blanco iguala la energía del ruido en el ancho de banda del receptor (bueno, no exactamente)
- ▶ El ancho de banda del receptor debe corresponder con la duración del pulso. Idealmente, el receptor debe ser un Matched Filter para maximizar la señal con la mínima cantidad de ruido
- ▶ Incrementando la energía por mayor potencia tiene límites prácticos y financieros. Grandes potencias requieren de grandes fuentes de poder y mucho enfriamiento.
- ▶ Incrementando energía por duración reduce el ancho de banda del receptor y la energía del ruido, pero disminuye la resolución, la capacidad de resolver dos blancos cercanos
- ▶ Mayor duración también aumenta el nivel de señal del clutter por el mayor volumen iluminado

Energía y Potencia



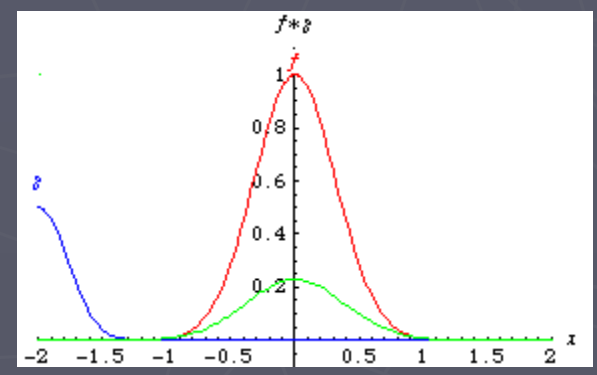
- ▶ Mayor potencia produce mayor energía, pero existe problemas con los subsistemas del radar como guías de onda, antenas y el volumen y costo del transmisor
- ▶ Transmisores antiguos usaban Magnetrones para producir potencias en el orden de 1 a 4MW con pulsos de duración entre 1 a 4uS – 1 a 16J
- ▶ Magnetrones son elementos no-coherentes, cuya estabilidad limita la capacidad de diferenciar entre clutter y blanco.
- ▶ Transmisores con TWT o de Estado Sólido, son totalmente coherentes (o lineales), pero de mucha menor potencia - 5 a 100KW, aun que existe Klistrones (Klystrons) que producen mas de 10MW
- ▶ Entonces ¿Como conseguir la energía requerida a menor potencia?
Mayor duración y mejor resolución por medio de la Compresión Digital de Pulsos

Compresión Digital de Pulsos

el Grial del Ingeniero de Radar

- ▶ La convolución de dos señales expresan el grado de correlación que existe a distintos tiempos
- ▶ Cuando las señales se traslapan perfectamente, la convolución es máxima
- ▶ Señales ideales son aquellas cuya convolución es mínima en todo momento, excepto alineamiento perfecto

$$f * g \equiv \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau) g(t - \tau) d\tau$$

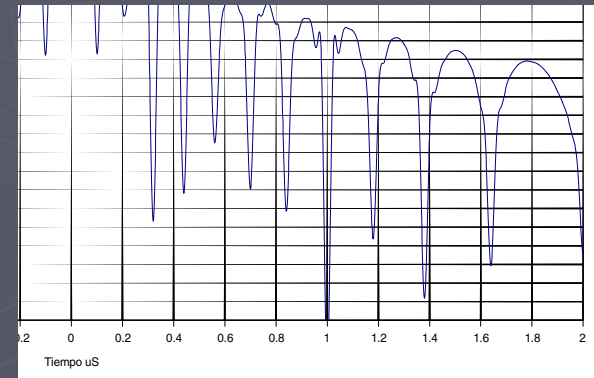
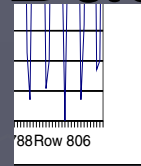


Formas de Onda

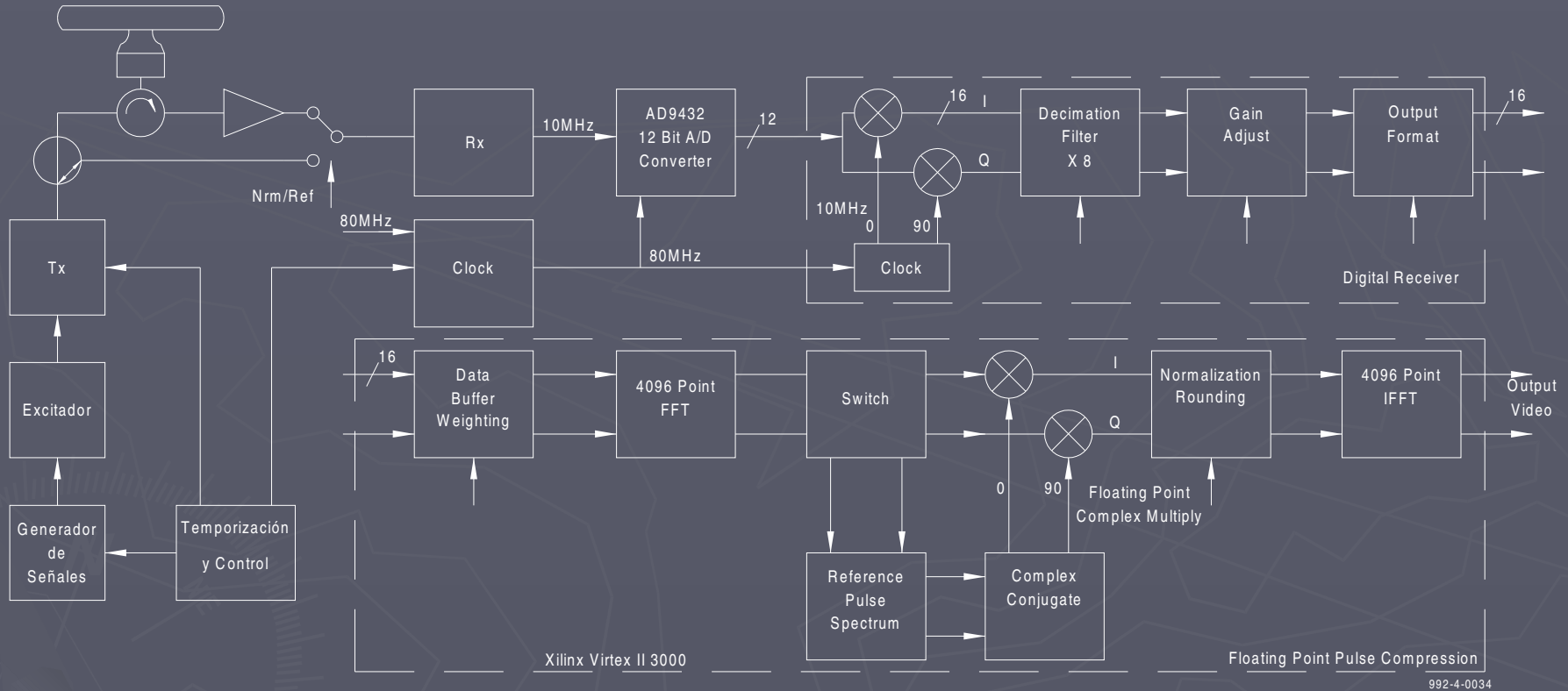
- ▶ Existen distintas señales digitales como códigos Frank y Barker, otras secuencias con múltiples fases y combinaciones incluyendo códigos pseudo-aleatorios
- ▶ La limitación de estos códigos es el valor Bt , el producto del ancho de banda y la duración del pulso. Es la cantidad básica de compresión disponible, por ejemplo, los códigos Barker tienen un Bt máximo de 13
- ▶ La mayoría de las señales usadas son entonces analógicas, y consisten en un barrido continuo de frecuencia por la duración del pulso
- ▶ El Bt de un pulso de 100 μ S de duración y 1MHz de barrido es 100 y el pulso comprimido tendrá un ancho de 1 μ S
- ▶ Un Bt de 100 significa que un transmisor de 50KW se comporta como un transmisor no-lineal de 5MW

Compresión Básica

- ▶ La señal transmitida es un barrido desde $-\Delta B/2$ a $\Delta B/2$, por ejemplo, de $B = 5\text{MHz}$ y la duración es $50\mu\text{s}$
- ▶ El pulso comprimido concentra la energía de la señal sobre un tiempo $=1/B$, 200nS , pero tiene lóbulos laterales en el tiempo correspondientes a la función SincX , -13dB
- ▶ La aplicación de una ventana Hamming a los datos, reduce los lóbulos a -40dB



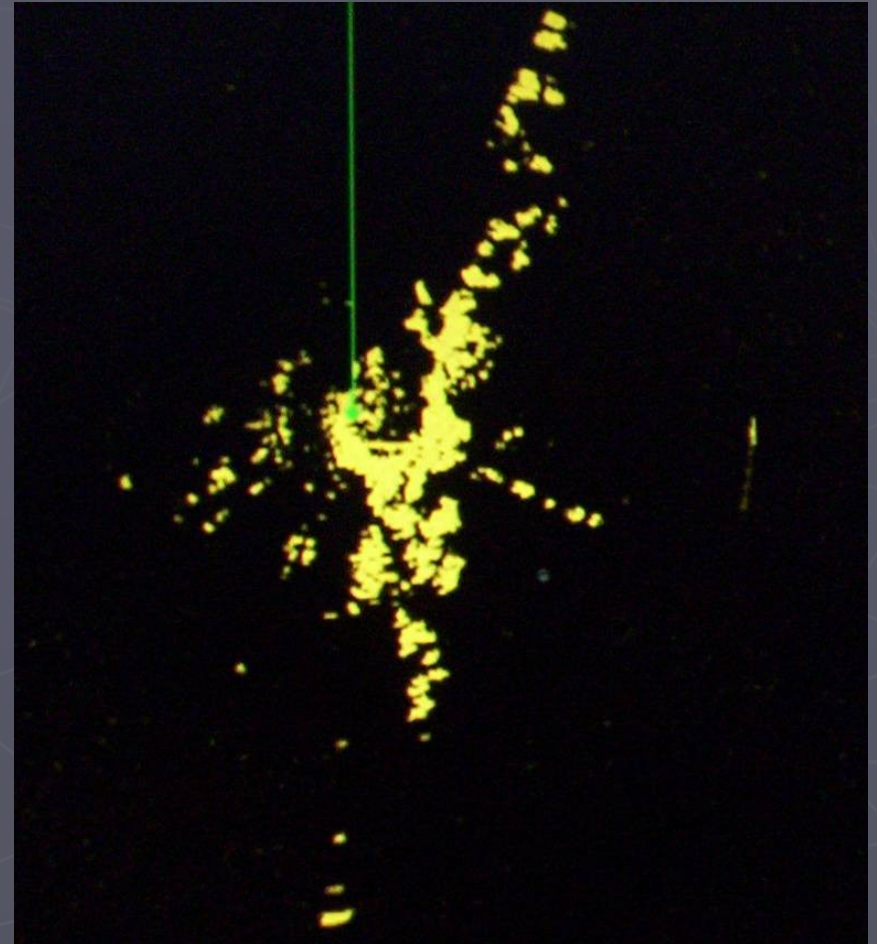
Compresión Práctica



Sistema práctico de compresión, usando un Receptor Digital y una Convolución basada en el uso de la Transformada de Fourier en punto flotante

Resultados Prácticos de la Compresión Digital de Pulsos

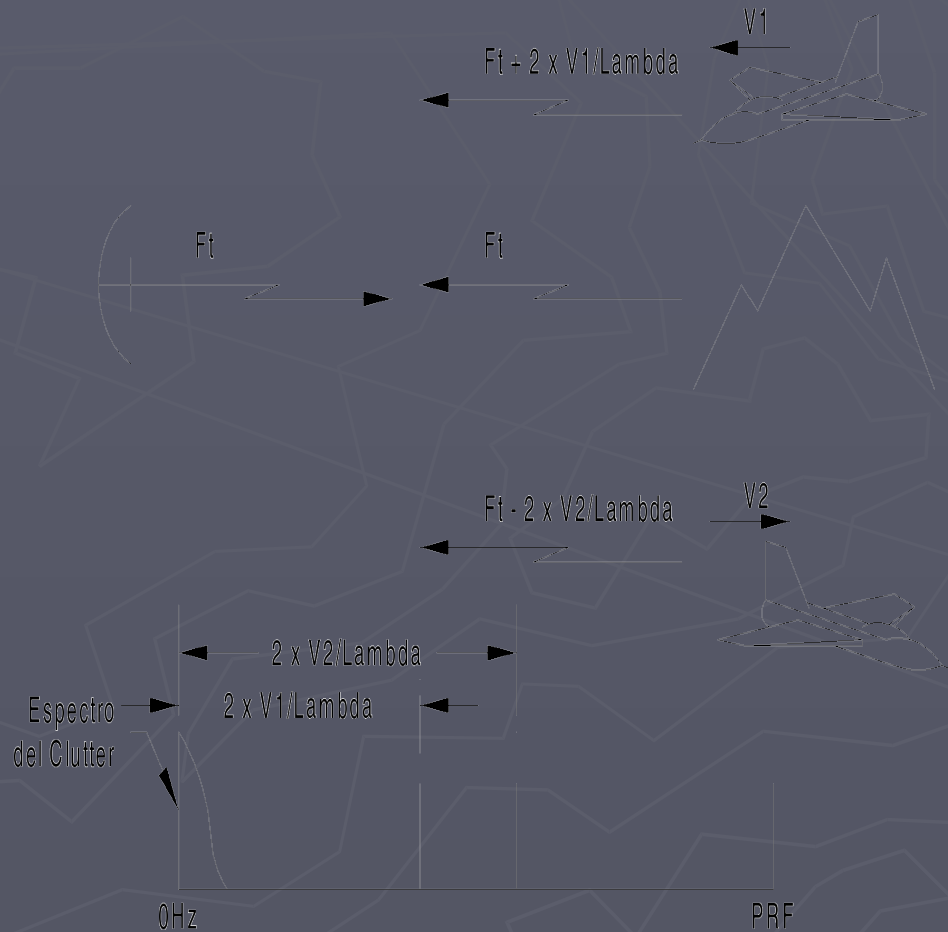
- ▶ Avión a 90Km del radar
- ▶ Note el clutter terrestre que rodea el radar
- ▶ Radar de 50KW transmitiendo pulso de 30uS con un barrido de 4MHz comprimido con pesaje Hamming



La Segunda Aplicación Importante

La búsqueda de la Información útil

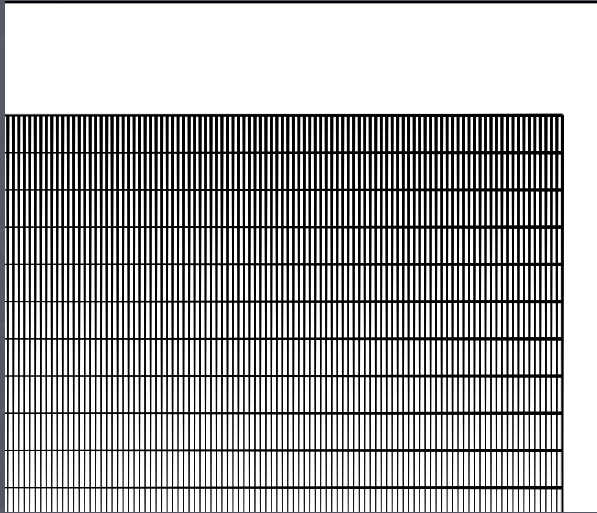
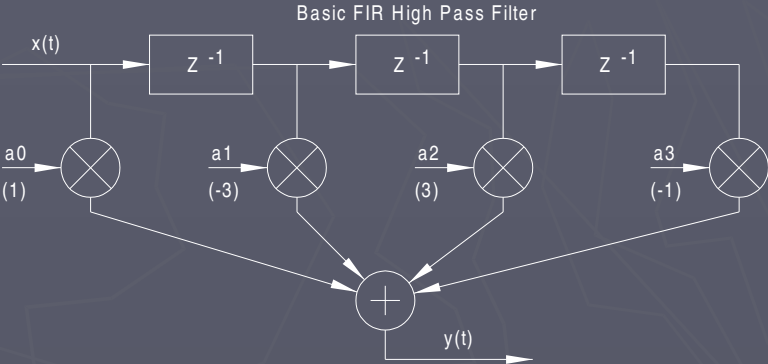
- ▶ Dada la coherencia en las señales transmitidas, los retornos de blancos estables son siempre en la misma fase y contienen cero Doppler
- ▶ Los blancos de interés son generalmente en movimiento, y por ende su fase, pulso a pulso, cambia. Esto es su frecuencia Doppler
- ▶ Para radares de bajo PRF, los Doppler son ambiguos, y todas las señales son dobladas adentro del rango del PRF
- ▶ Por medio de un filtro, se puede separar los objetos en movimiento de los que están estacionarios



El Filtro MTI

(Indicador de Blancos Móviles)

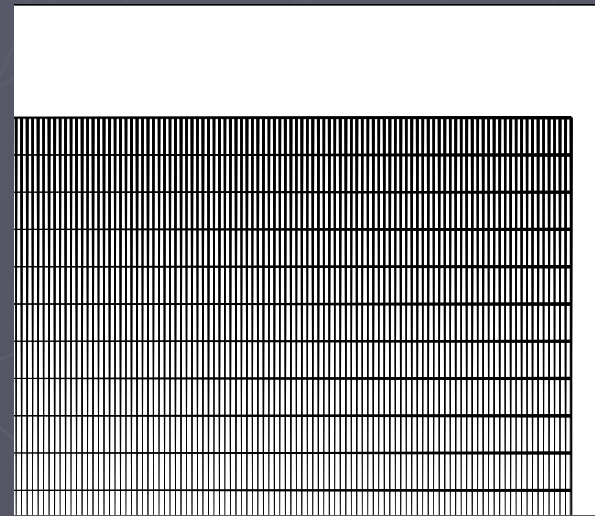
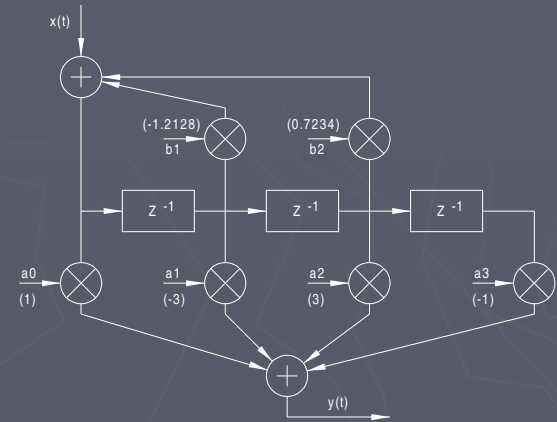
- ▶ La más simple implementación es el FIR de Pasa Alta, que es simétrico alrededor de la frecuencia de muestreo, en este caso, la frecuencia de repetición del radar (PRF)
- ▶ En un MTI, las frecuencias corresponden a las velocidades radiales de los blancos. Los blancos con mayor velocidad que el PRF del radar se doblan hacia abajo al espacio entre cero y PRF



La respuesta del filtro es deficiente por la atenuación cercana a los bordes

El Filtro MTI

- ▶ Con un filtro IIR y valores de retroalimentación de Punto Flotante, la respuesta del filtro es mejorada significativamente
- ▶ Dependiendo de la estabilidad del radar y la composición del clutter, el espectro del clutter puede ocupar mas o menos área bajo el filtro
- ▶ La nula respuesta alrededor de la PRF es solucionada introduciendo variaciones en la PRF llamado Stagger. Este modula la frecuencia de alias de las señales y mueve el null hacia arriba y abajo, las variaciones de lo cual están integradas sobre varias PRF



La repuesta del filtro es deficiente por la atenuación cerca las bordes

Procesamiento Práctico



El filtro MTI remueve el clutter fijo como montañas, pero el clutter móvil, como nubes, persiste.

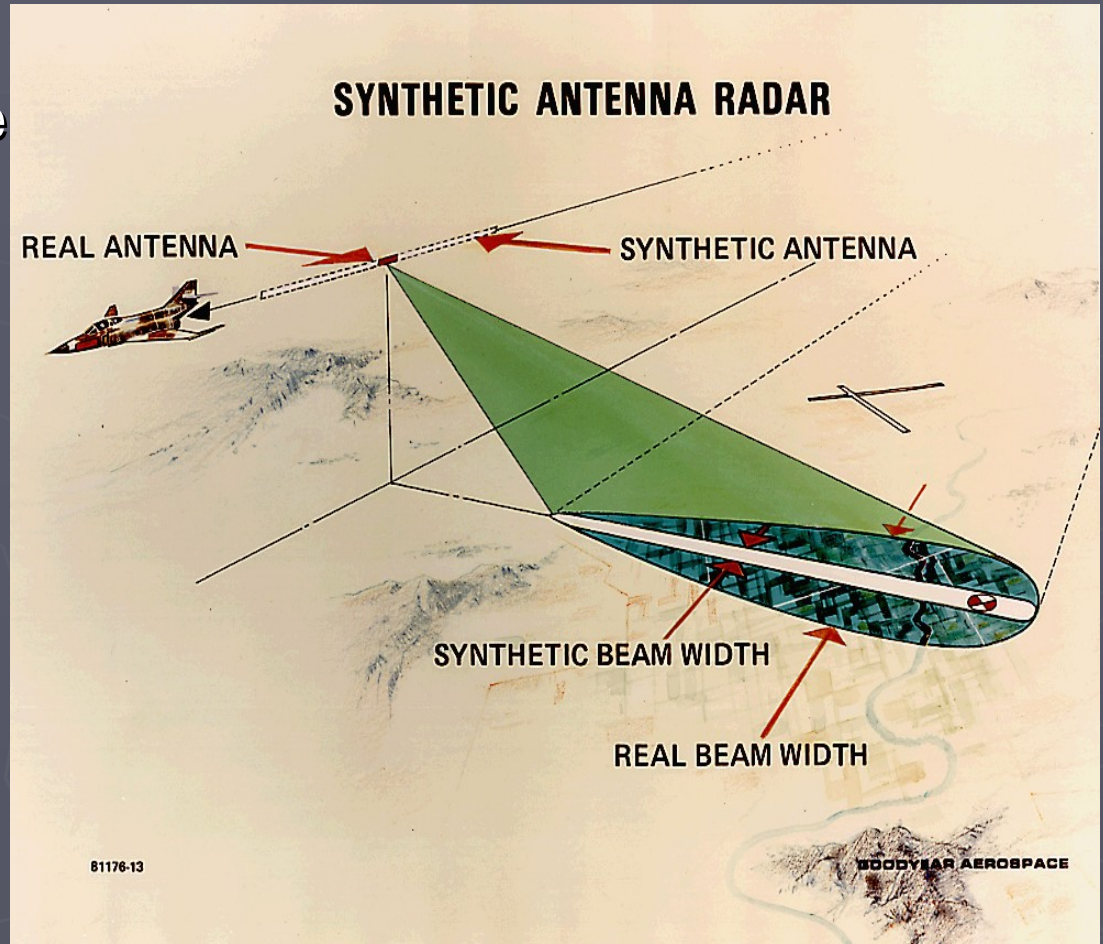
Un procesador estima la velocidad del clutter móvil sobre áreas y lo compensa llevando la velocidad del área a cero. Esta señal se filtra nuevamente en un MTI.

El Sistema Completo de Procesamiento contiene detectores con mapas que dividen el área de vigilancia en celdas, usualmente uno o dos millones. Cada celda integra la señal en el tiempo, identificando la presencia de blancos transitorios.

Las detecciones son sumadas y analizadas produciendo mensajes de computador con la demarcación y distancia del blanco.

Procesamiento SAR

- ▶ Procesamiento SAR (Radar de Apertura Sintética) es capaz de producir imágenes a partir de señales de radar, siempre y cuando, el radar esta en movimiento
- ▶ Usando datos coleccionados a través de un movimiento longitudinal, se aplica convolución en dos ejes para producir una mayor resolución



Típico Algoritmo de Procesamiento SAR

- Se usa sucesivas correlaciones y Transformadas de Fourier para comprimir los datos obtenidos (miles y miles) para obtener resoluciones alrededor de 1m

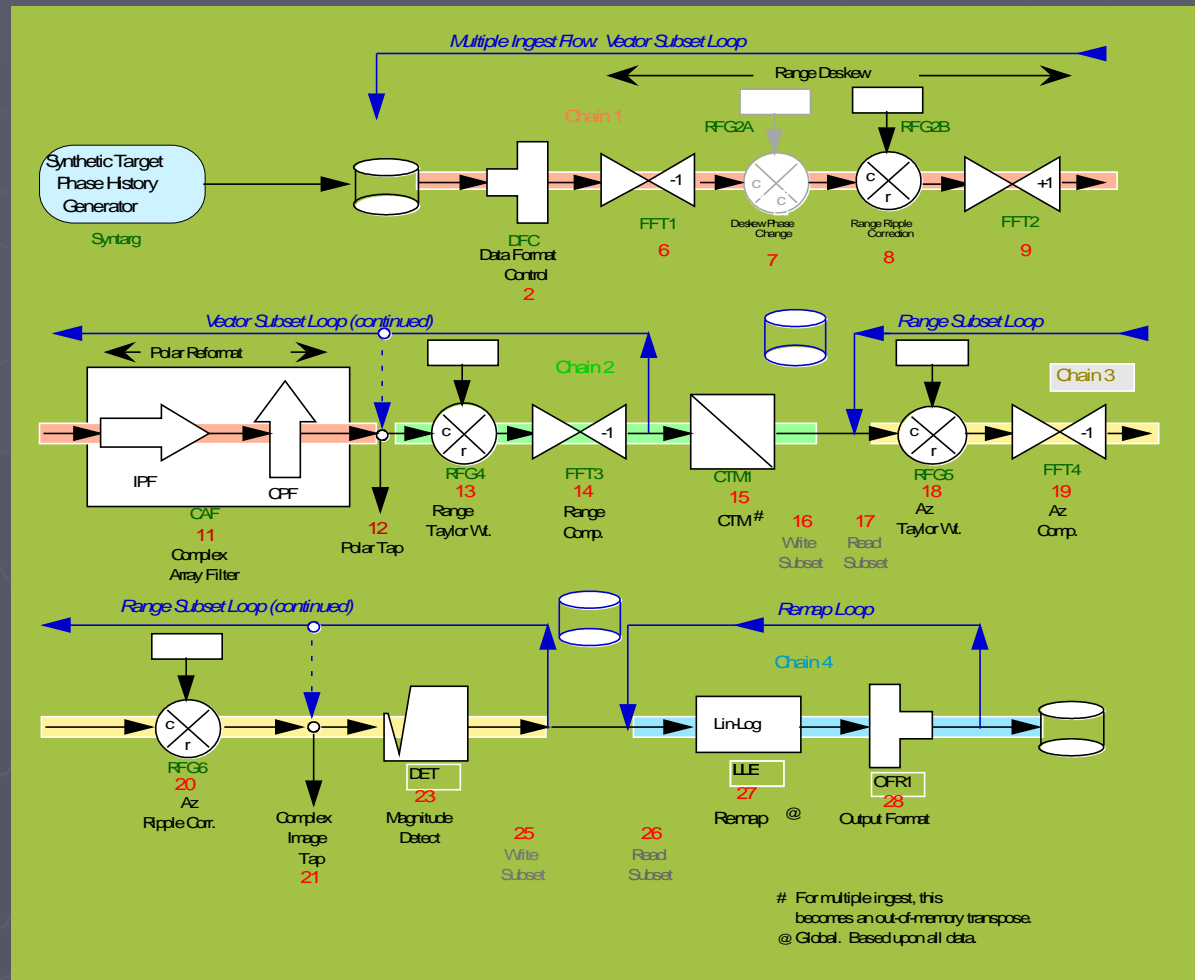
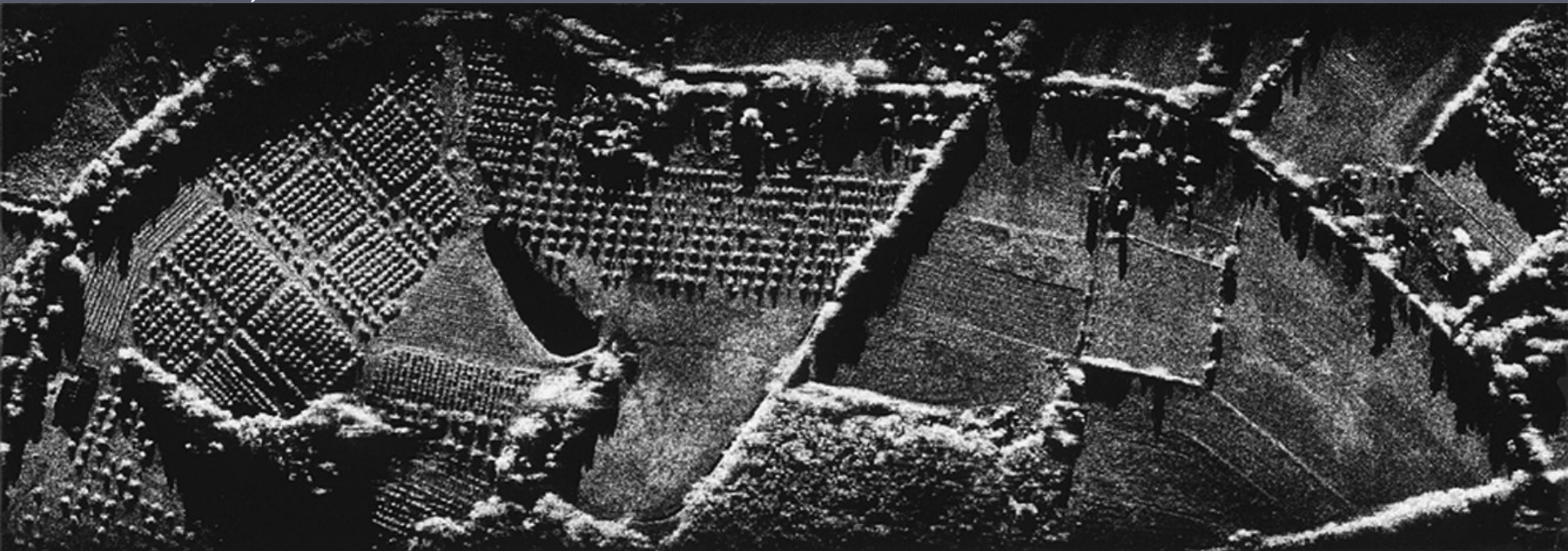


Imagen SAR obtenido con un Radar a 35GHz

Ft. Devens, MA



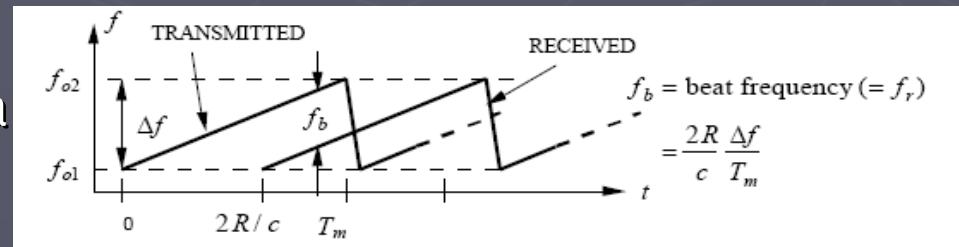
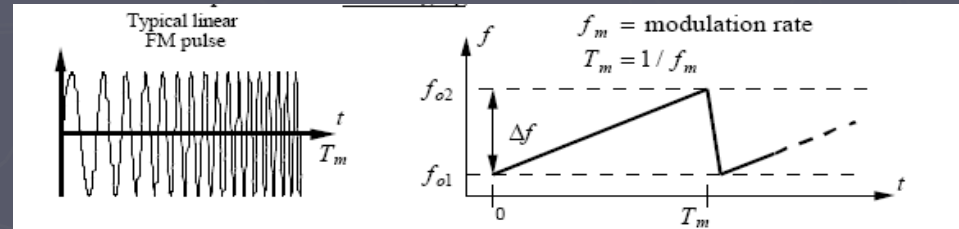
35 GHz

HH Polarization

± 20 Deg Depression Angle

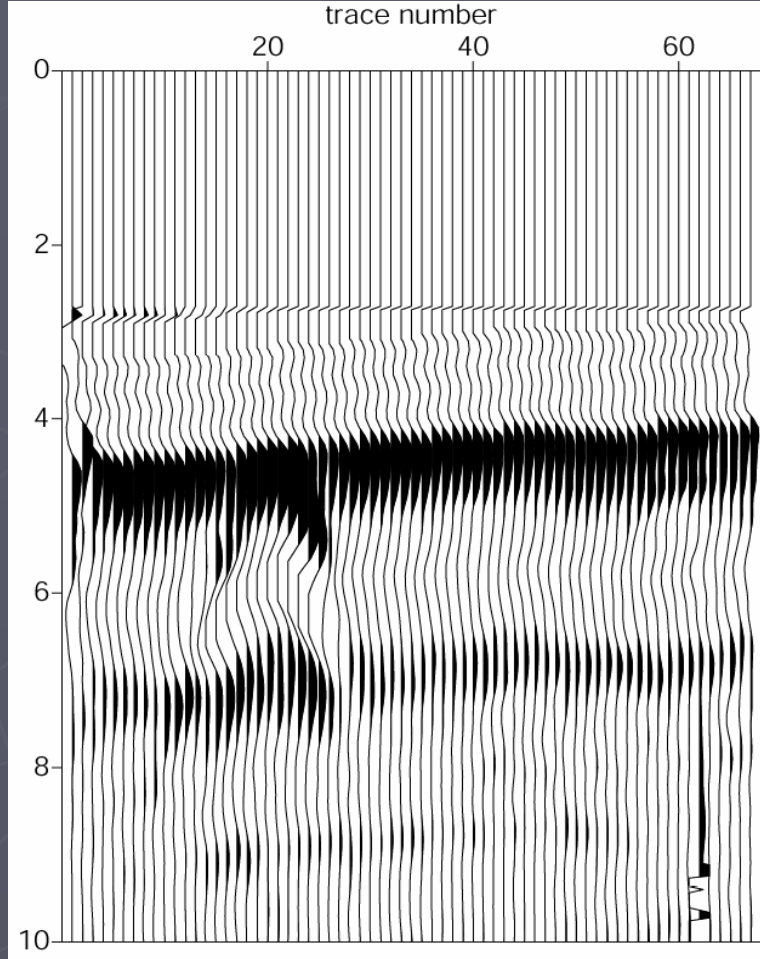
Radar de Penetración Terrestre (GPR)

- ▶ Los GPR son generalmente del tipo FMCW. Es decir, la transmisión es continua, pero modulada con una señal diente de sierra.
- ▶ Comparando las señales recibidas con la señal de transmisión produce frecuencias proporcionales a la distancia.
- ▶ Un Transformado de Fourier retorna las señales al plano de tiempo distancia.
- ▶ Casi siempre GPR aplica procesamientos SAR a las señales obtenidas.



Hasta donde funciona un radar GPR

- ▶ La atenuación de la tierra es muy, muy alta.
- ▶ En el ejemplo, la máxima distancia corresponde a 10m
- ▶ Las frecuencias necesarias son muy bajas, por lo que empeora la resolución obtenible



Dos Ejemplos

- ▶ Linktronic actualmente trabaja en dos radares para investigación terrestre
- ▶ En conjunto con UC y el Ejercito, estamos desarrollando un radar de helicóptero del tipo “Stepped Frequency Radar” para la localización de minas antipersonales. La penetración estimada es de 1m. Con procesamiento SAR se pretende obtener una imagen del subsuelo y la ubicación de las minas en 3D.
- ▶ En conjunto con el Centro de Estudios Científicos y la Armada, estamos desarrollando un radar del tipo impulso, con frecuencia de 1MHz, (la antena tiene 600m), para la investigación de los glaciares. La penetración estimada es de 2Km en hielo templado. Se usara procesamiento SAR para producir perfiles de la profundidad de los glaciares.

Importancia de DSP en Radares

- ▶ Es inconcebible, la operación de un radar moderno sin el uso de varios DSP embedded en su estructura
- ▶ Los avances en velocidad, tanto de los DSP como los Convertidores Analógico Digital, significan que los DSP abarcan más y más de las áreas anteriormente analógicas, como es el receptor
- ▶ Nuevas funciones y matemáticas avanzadas empujan el DSP a ocupar una posición cada día mas relevante en el radar, en particular en las áreas de identificación de blancos, detección optimizada a través de señales especiales y sistemas Adaptivos en Espacio y Tiempo.
- ▶ Otras aplicaciones son Radares de Apertura Sintética en Tiempo Real y Radares de Frecuencia Escalonada, ambas usadas para producir imágenes radáricas.
- ▶ La Compresión de Pulso, es una técnica usada extensivamente en otras áreas, como la Ecografía Ultrasónica
- ▶ La Convolución, es una herramienta matemática vital en muchas áreas, particularmente en el procesamiento digital de imágenes.

Fin de la Presentación

Muchas gracias por su atención

Espero que hayan aprendido algo sobre radares a pesar de los faltas de ortografía.

Steven Lorimer

Gerente de Ingeniería

Linktronic