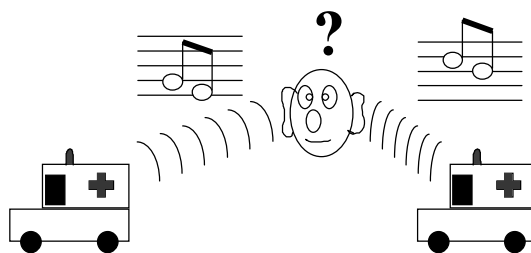


Ultralyd og objekt i bevegelse

Johan Kirkhorn / Hans Torp
SIE 3067 Medisinsk Billedannelse 2
6. mars 2001

Doppler-effekten

- **Tonehøgda til sirena endrar seg når sjukebilen køyrer forbi:**



- **Dette er eit eksempel på Doppler effekten**
Johann Christian Doppler, austerisk fysikar, 1803-53

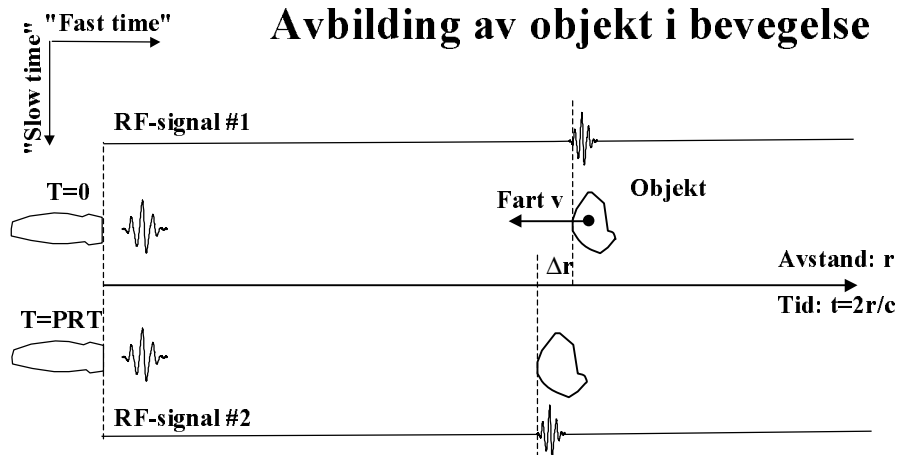
Doppler

- Doppler-likninga gir samanhengen mellom observert frekvens, utsendt frekvens, relativ fart (v) og bølgefart (c):

$$f_{\text{observert}} \approx f_{\text{utsendt}} (1 - v/c)$$

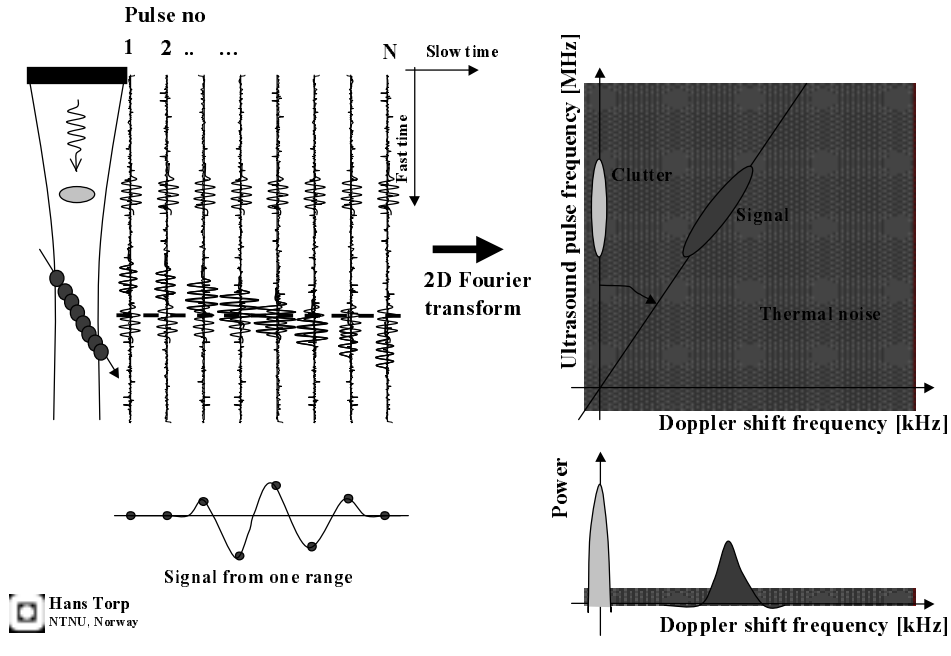
- Def: Positiv v betyr aukande avstand
- Eksempel, hjertekontraksjon:
 - $f_{\text{utsendt}} = 2 \text{ MHz}$ $v_{\text{max}} = 20 \text{ cm/s (x2)}$ $c = 1540 \text{ m/s}$
 - $f_{\text{observert}} = 1.9995 \text{ MHz}$
 - Veldig små frekvensutslag gjer det vanskelig å utnytte frekvensskiftet direkte

Avbildning av objekt i bevegelse

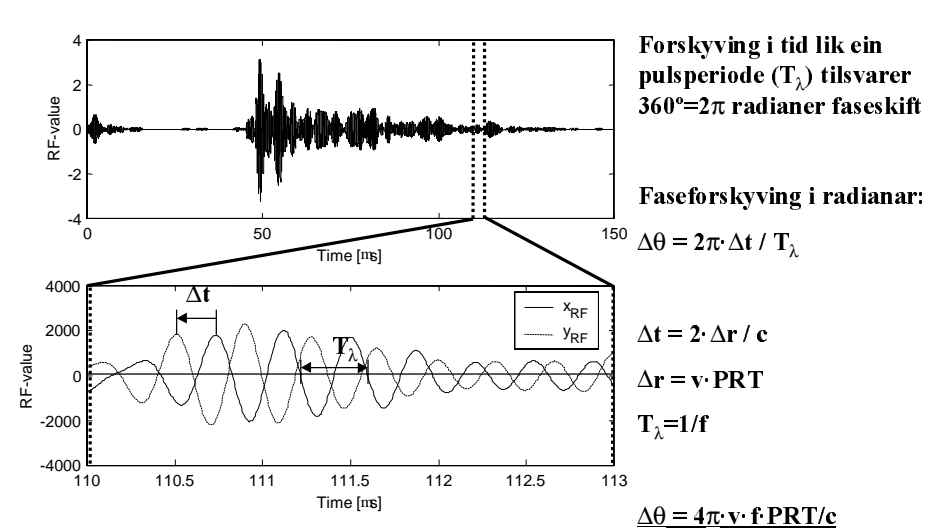


- Sender 2 eller fleire pulsar med intervall PRT (Pulse Repetition Time)
- Mottar RF-signal
- Objektet har fart v , og flyttar seg Δr i løpet av tida mellom pulsane: $\Delta r = v \cdot PRT$
- Tidsskift i RF-signalet: $\Delta t = 2\Delta r/c$
- To tidsskalaer: "Fast time" = langs strålen "Slow time" = pulsnummer

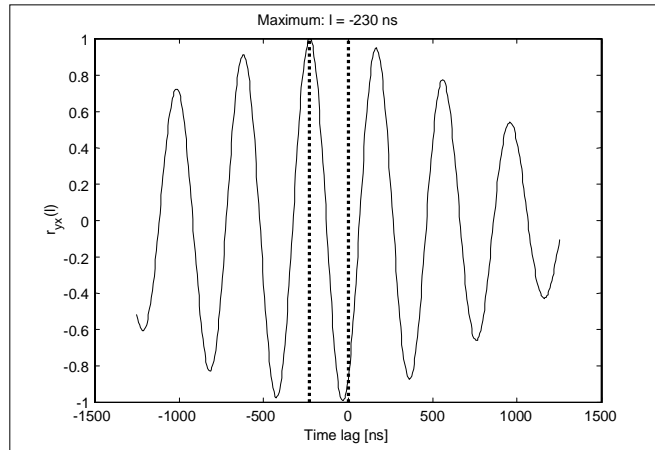
Signal from moving scatterer



Faseforskyving i RF-signal



Krysskorrelasjon



Krysskorrelasjon

- **Krysskorrelasjon kan brukast til å estimere tidsskift mellom påfølgjande RF-signal:**
- $r_{yx}(l) = \sum_t [y(t) x(t+l)]$ $x(t), y(t) = \text{RF-signal}$
- $l = \text{time-lag, summasjon over } t \text{ (fast time)}$

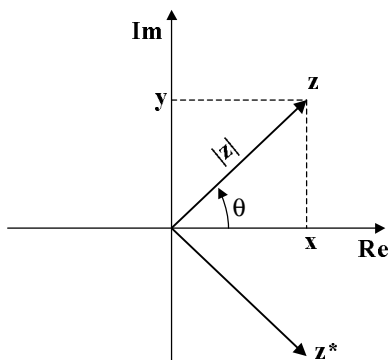
- **Vil gje maks. verdi for lag som tilsvarer tidsskift:**
 $\Delta t = l_{\max} \cdot T_s = l_{\max} / f_s$ ($f_s = \text{Radiell samplingsfrekvens}$)
- **Krev høg samplingsfrekvens i RF-signal for å gje god tidsoppløysing**
- **Beregningskrevande**
- **Lite praktisk brukbart**

IQ-demodulasjon

- IQ-demodulasjon gir fase og amplitude for RF-signalet i forhold til ein referansefrekvens (demodulasjonsfrekvensen)
- Kan derfor beregne faseskift og fart ved å sjå på faseskift i IQ-data
- Dette er mykje greiare enn å tukle med estimering av faseskift i RF-data:
 - Lavare samplingsrate - mindre data - færre operasjonar

Komplekse tal

$$z = x+iy = |z| (\cos \theta + i \sin \theta) = |z| e^{i\theta}$$



Realdel: $\text{Re}(z) = x = |z|\cos\theta$

Imaginærdel: $\text{Im}(z) = y = |z|\sin\theta$

Absoluttverdi, modul: $|z| = (x^2+y^2)^{1/2}$

Fasevinkel, argument:

$\theta = \arg(z) = \angle z \quad \theta \in [-\pi, \pi)$

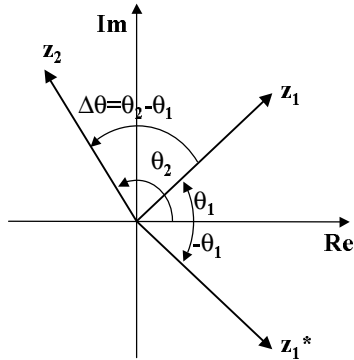
Kompleks konjugert:

$z^* = x-iy = |z|e^{-i\theta}$

Matlab funksjonar:

real, imag, abs, angle og conj

Faseskift i komplekse tal



To komplekse tal: z_1 og z_2

Multiplikasjon:

$$z_1 z_2 = |z_1| e^{i\theta_1} |z_2| e^{i\theta_2} = |z_1| |z_2| e^{i(\theta_1 + \theta_2)}$$

=> Argument til produkt er sum av argument

Multiplikasjon og komplekskonjugering:

$$z_1^* \cdot z_2 = |z_1| e^{-i\theta_1} |z_2| e^{i\theta_2} = |z_1| |z_2| e^{i(\theta_2 - \theta_1)}$$

=> Argument til produkt er differanse av argument

Faseskift:

$$\Delta\theta = \arg(z_1^* \cdot z_2) = \theta_2 - \theta_1$$

Autokorrelasjonsmetoden

$x_r(t)$ er kompleksdemodulerte samples frå same avstand (r) for etterfølgande pulsar

Fasevinkel mellom dei to første er:

$$\Delta\theta = \arg(x_r^*(1) \cdot x_r(2))$$

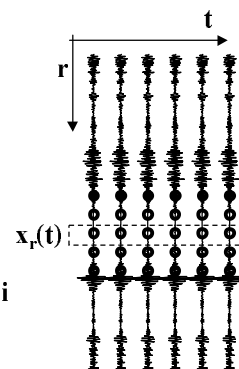
Fart: $v = \Delta\theta \cdot c / (4\pi \cdot f \cdot \text{PRT})$

Autokorrelasjon:

$$R_{xx}(l) = \langle x_r^*(t) \cdot x_r(t+l) \rangle \quad \langle \cdot, \cdot \rangle \text{ forventingsverdi}$$

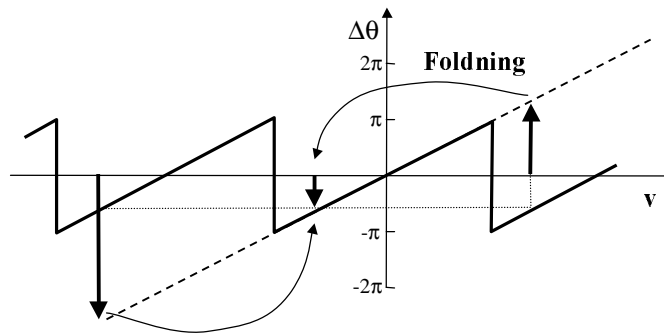
Fart blir estimert frå fasevinkelen til autokorrelasjonen med lag $l=1$ i "slow time"

Forventingsverdi blir rekna ut ved å midle i tid og langs strålen (r), for å redusere varians i estimatet

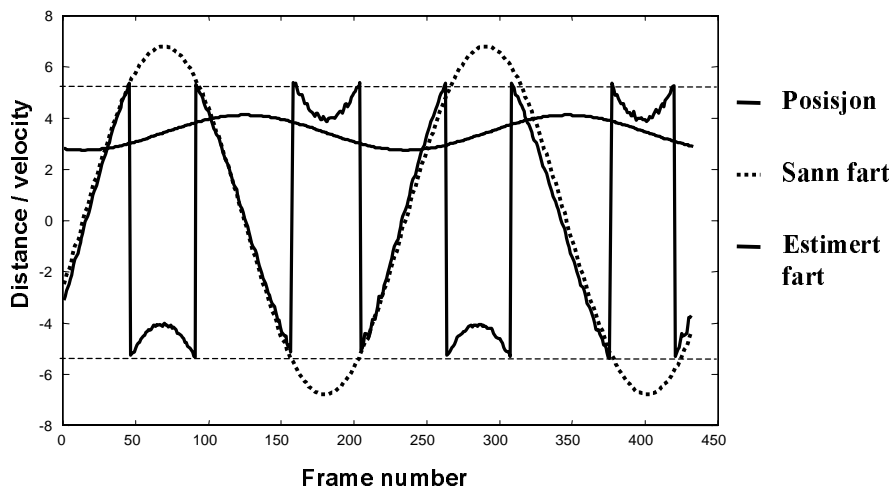


Aliasing

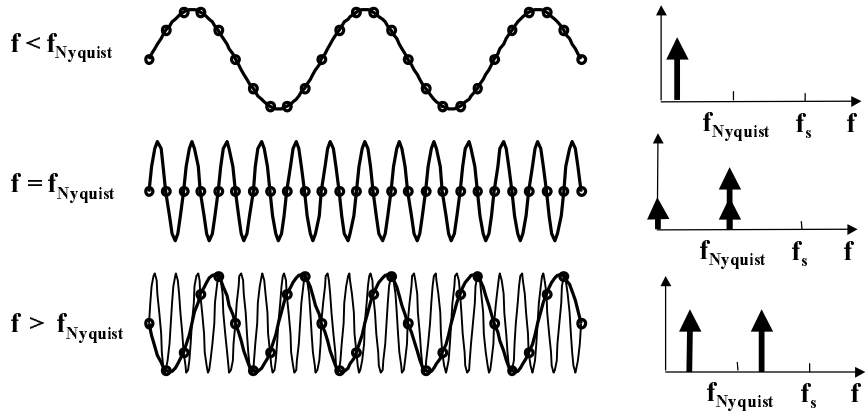
- Det er ein lineær samanheng mellom fasevinkel og fart:
$$\Delta\theta = 4\pi \cdot v \cdot f \cdot \text{PRT}/c$$
- Fasevinkelen til eit komplekst tal er definert på intervallet $[-\pi, \pi)$
- Dersom farten er stor, vil faseskiftet kunne gå ut over π
- Dette vil tilsynelatande sjå ut som farten får feil retning og storleik
- Effekten kallast foldningsfeil, eller aliasing:



Aliasing



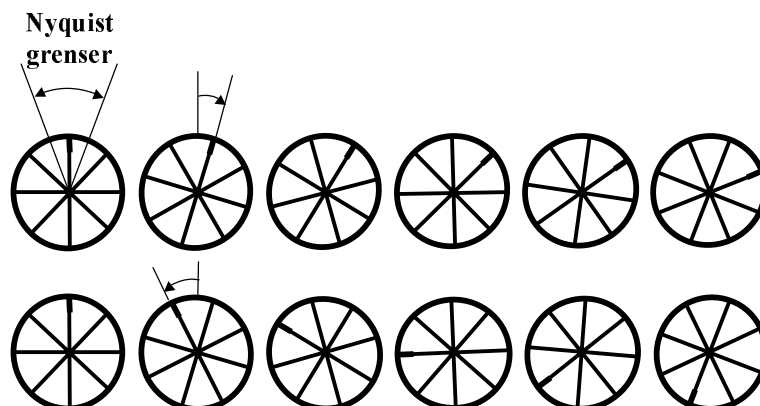
Sampling av sinussignal



- **Nyquist's samplingsteorem:**
Korrekt representasjon av signalet krev samplingfrekvens minst 2 gongar den høgaste frekvenskomponenten i signalet.

Aliasing

- Kjerrehjul i gamle Western-filmar snurrar baklengs
- 24 bilder pr. sekund, stroboskopeffekt



Grense for aliasing i autokorrelasjonsmetoden

- Aliasing oppstår når fasevinkel blir π :

$$\Delta\theta = 4\pi \cdot v \cdot f \cdot \text{PRT} / c = \pi$$

- Grensa for når aliasing oppstår kallast Nyquisthastigheten:

$$v_{\text{Nyquist}} = c / (4 \cdot f \cdot \text{PRT}) = c \cdot \text{PRF} / (4 \cdot f)$$

- Må tilpasse frekvens og pulsrepetisjonsfrekvens, $\text{PRF} = 1/\text{PRT}$ til hastighet som skal målast

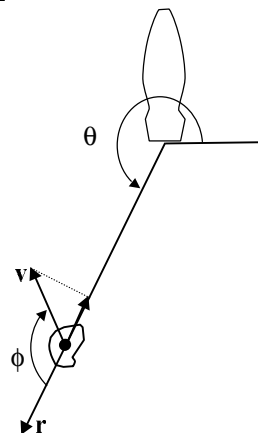
Vinkel

- Måler den komponenten av bevegelsen som går langs strålen:

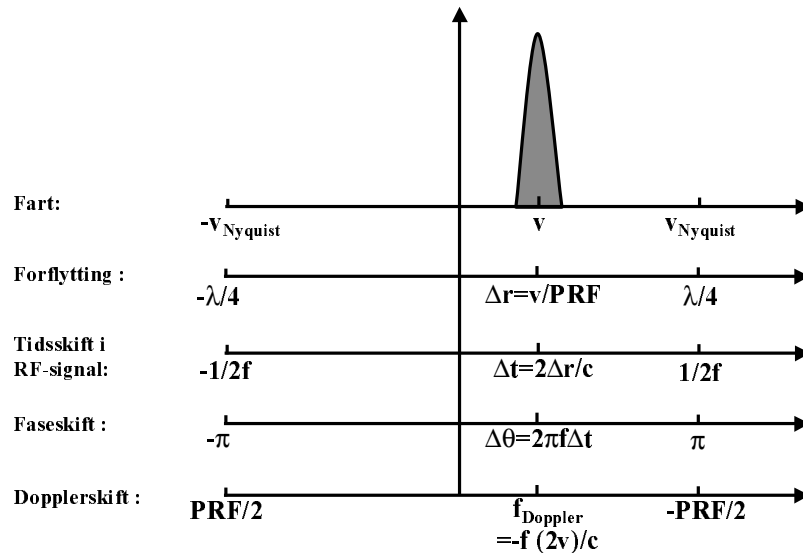
- $v_{\text{Målt}} = |v| \cos \phi$

- Strålevinkel på Vivid Five:

$$\theta = \text{StartAngle} + (\text{Beamno} - 0.5) \cdot \text{AngleIncrement}$$

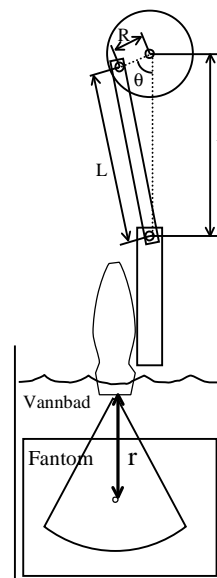


Samanhengar

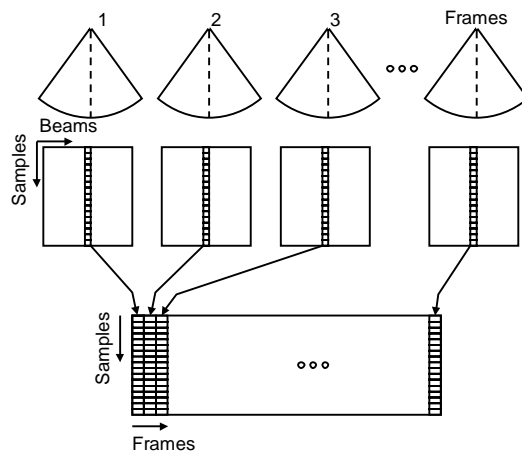


Øving 4

- Opptak av RF-data med proben montert i stempel som gir sinusbevegelse
- Få strålar i RF-sektor for å få høy framerate (350 fps)
- Skal sjå på:
 - Tidsskift i RF-data
 - Faseskift i RF-data
 - Faseskift i IQ-data
 - Aliasing og Nyquistgrense
 - Vinkel

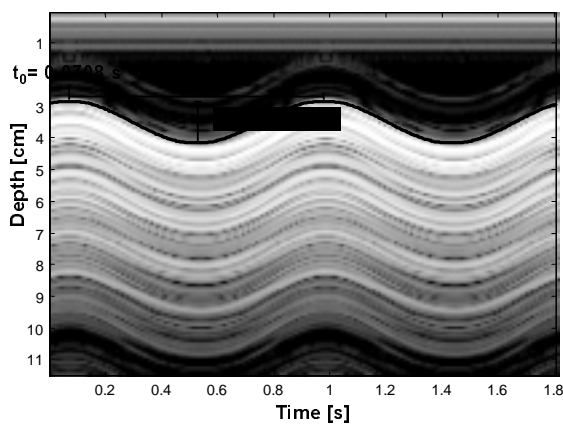


Øving 4



- Lag M-mode ved å plukke ut den same strålen i alle frames med IQ-data
- Tips: Bruk READIQMM

M-mode



- Les av periode (T), tidsskift (t_0) og eksenter-radius (R) frå M-mode bildet
- Oppløysing på y-akse:
DepthIncrementIQ (GETPARAM)
- Tidsoppløysing:
 $PRT=1/FrameRate$