
Integrazione coerente

Parte 3

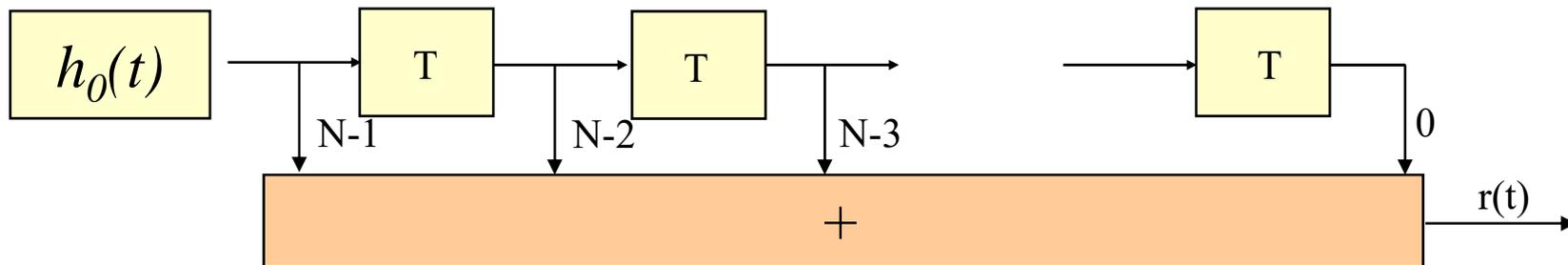
Pierfrancesco Lombardo

Filtro adattato alla sequenza (I)

$$s_{0N}(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_0(t - n \cdot T) \quad \Downarrow \quad s_0(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_p}} e^{j\phi(t)} \text{rect}_{\tau_p} \left(t - \frac{\tau_p}{2} \right)$$

$$h(t) = s_{0N}^*[(N-1)T + \tau - t] = \sum_{n=0}^{N-1} s_0^*[(N-1)T + \tau - t - n \cdot T]$$

$$h(t) = s_0^*[\tau_p - t] * \sum_{n=0}^{N-1} \delta[t - (N-1-n)T] = h_0(t) * \sum_{n=0}^{N-1} \delta[t - (N-1-n)T]$$

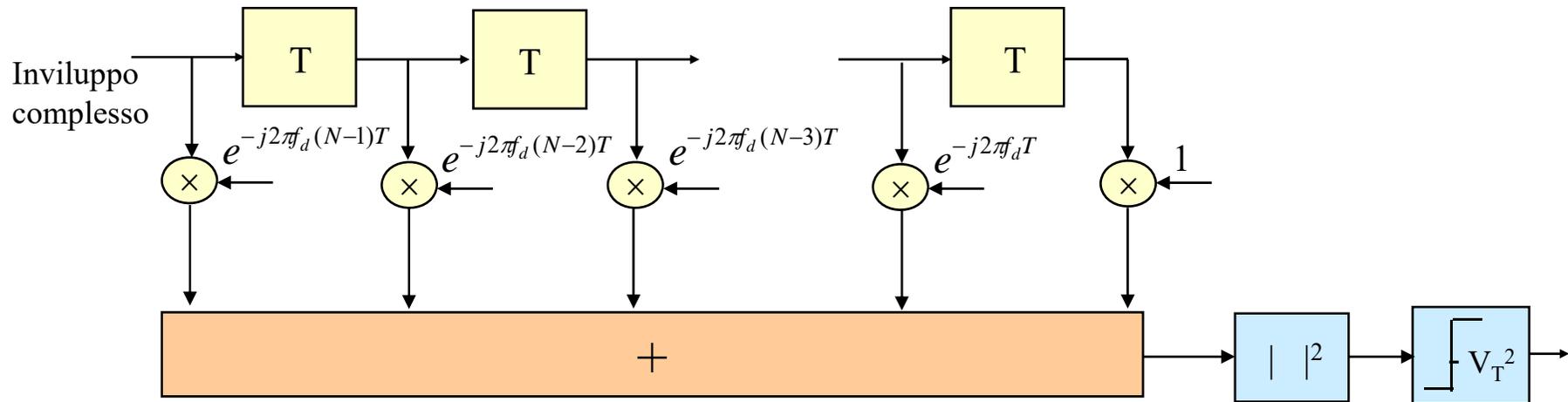


$$h_0(t) = s_0^*(\tau_p - t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_p}} e^{-j\phi(\tau_p - t)} \text{rect}_{\tau_p} \left(\frac{\tau_p}{2} - t \right)$$

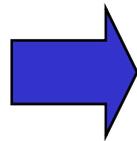
Sistemi Radar

Filtro adattato alla sequenza (V)

Per poter operare coerentemente è necessario riallineare in fase i ritorni cioè considerare lo schema (filtro):



frequenza Doppler f_d
del bersaglio incognita



- Si considera un insieme discreto di valori della frequenza Doppler e si compensano i valori selezionati

Insieme dei valori considerati i cui corrispondenti sfasamenti sono compensati (N schemi come sopra ciascuno relativo a uno degli N valori di f_d presi in considerazione: **banco di N filtri**).

$$f_d = \frac{k}{NT} \quad k = 0 \dots N-1$$

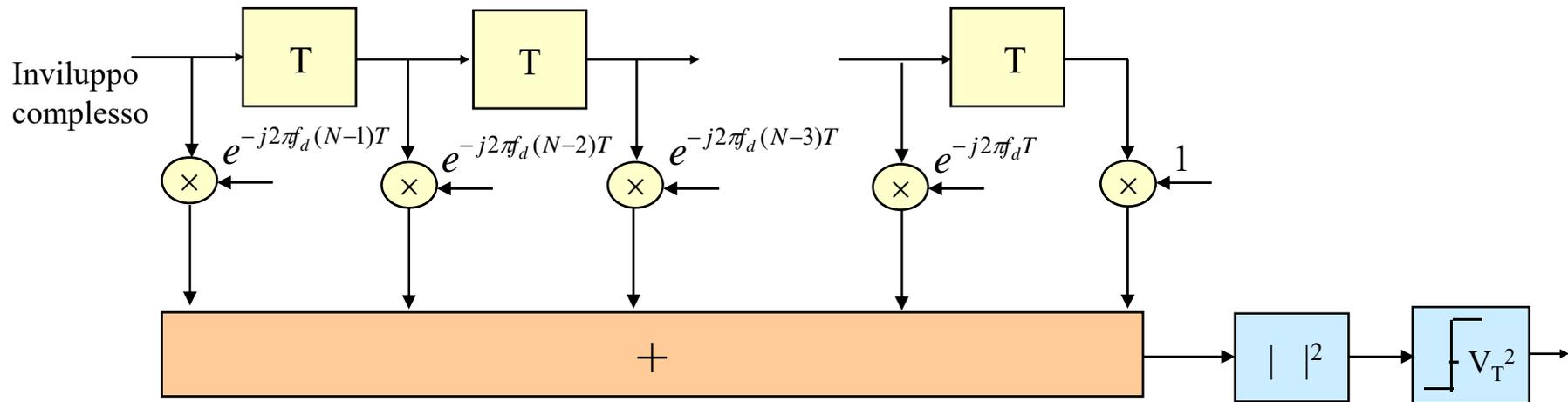
$$\Rightarrow e^{-j2\pi f_d nT} = e^{-j2\pi \frac{kn}{N}}$$

Generico termine di riallineamento della fase dell'n-esimo impulso

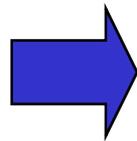
Sistemi Radar

Filtro adattato alla sequenza (V)

Per poter operare coerentemente è necessario riallineare in fase i ritorni cioè considerare lo schema (filtro):



frequenza Doppler f_d
del bersaglio incognita



- Si considera un insieme discreto di valori della frequenza Doppler e si compensano i valori selezionati

Insieme dei valori considerati i cui corrispondenti sfasamenti sono compensati (N schemi come sopra ciascuno relativo a uno degli N valori di f_d presi in considerazione: **banco di N filtri**).

$$f_d = \frac{k}{NT} \quad k = 0 \dots N-1$$

$$\Rightarrow e^{-j2\pi f_d nT} = e^{-j2\pi \frac{kn}{N}}$$

Generico termine di riallineamento della fase dell'n-esimo impulso

Sistemi Radar

Filtro adattato alla sequenza (VII)

A meno della portante la forma d'onda trasmessa è del tipo:

$$\sum_{n=0}^{N-1} f(t-nT)$$

Per il nostro caso particolare $f(t)=\text{rect}_\tau(t)$ ma il discorso che segue è valido qualunque sia la forma d'onda trasmessa sulla singola interrogazione.

La funzione di trasferimento del filtro adattato è quindi data da:

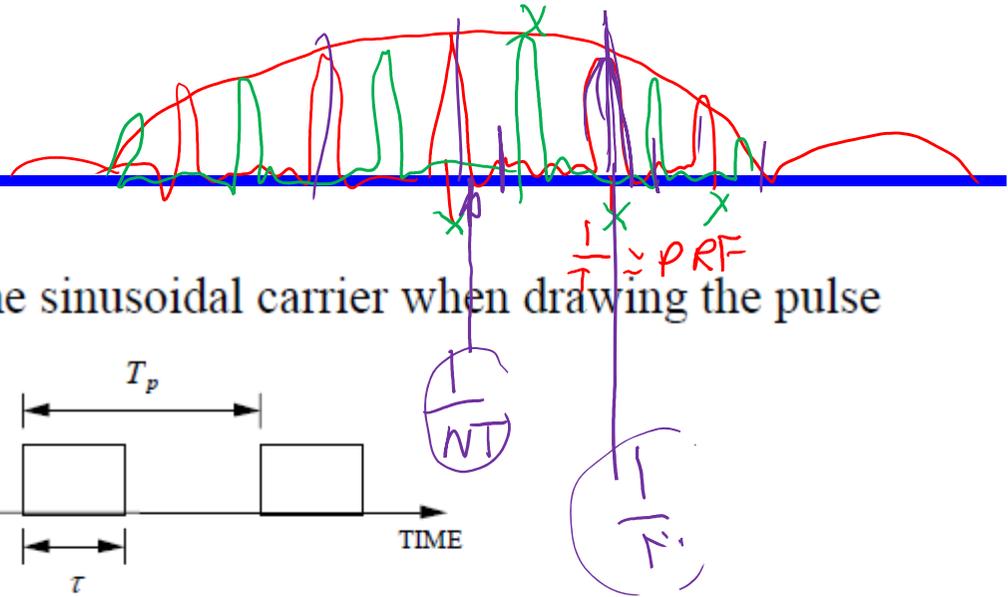
$$H_{MF}(f) = F^*(f) \left[\sum_{n=0}^{N-1} e^{-j2\pi f n T} \right]^* = F^*(f) \left[\frac{1 - e^{-j2\pi f N T}}{1 - e^{-j2\pi f T}} \right]^*$$

Filtraggio adattato alla forma d'onda trasmessa
 Filtraggio azimutale

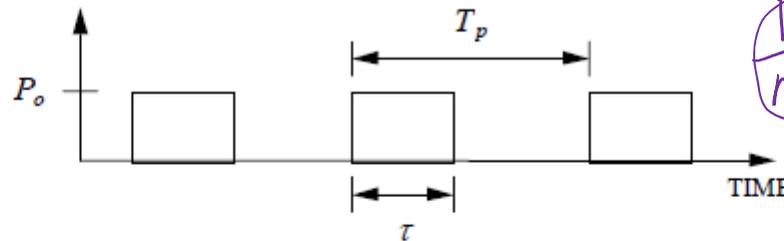
Il filtro adattato ad un treno di interrogazioni si decompone nel filtro adattato alla forma d'onda trasmessa sulla singola interrogazione ($F^*(f)$) e nel filtro che opera l'integrazione azimutale ($\frac{\sin(\pi f N T)}{\sin(\pi f T)}$): nel caso che la forma d'onda trasmessa sia un impulso rettangolare si ha

$$H_{MF}(f) = \text{sinc}(\pi f \tau) \frac{\sin(\pi f N T)}{\sin(\pi f T)}$$

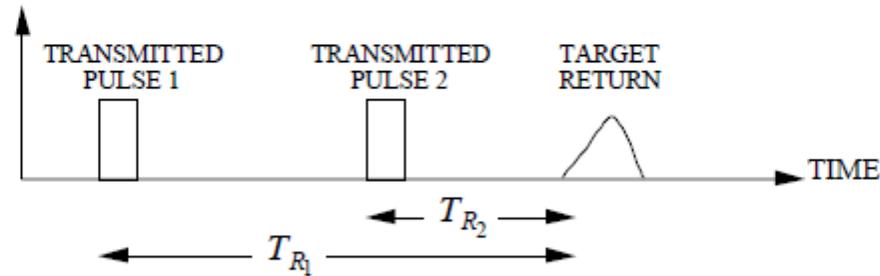
Range Ambiguities



- For convenience we omit the sinusoidal carrier when drawing the pulse train



- When multiple pulses are transmitted there is the possibility of a range ambiguity.



- To determine the range unambiguously requires that $T_p \geq \frac{2R}{c}$. The unambiguous range is

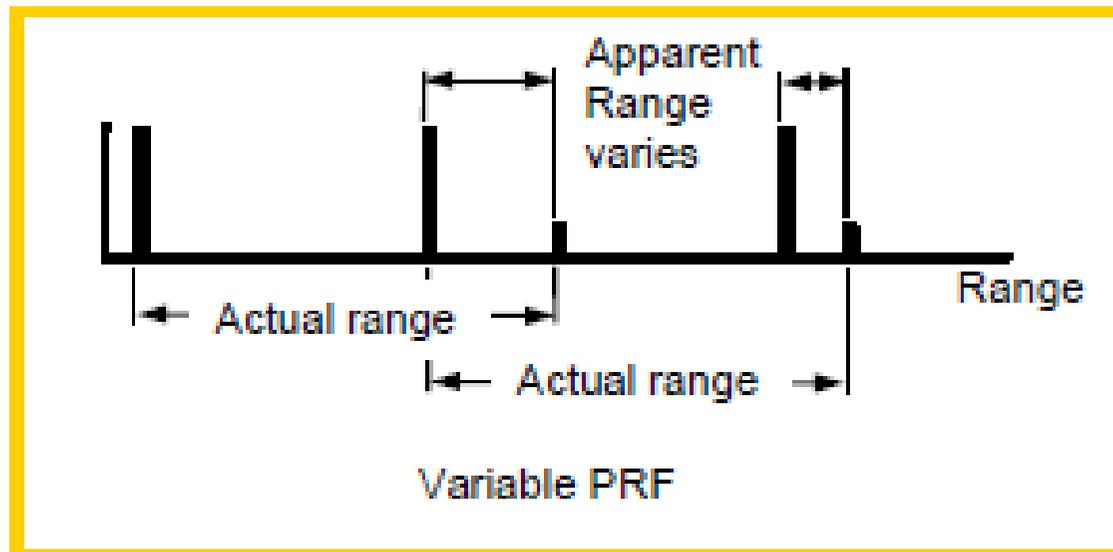
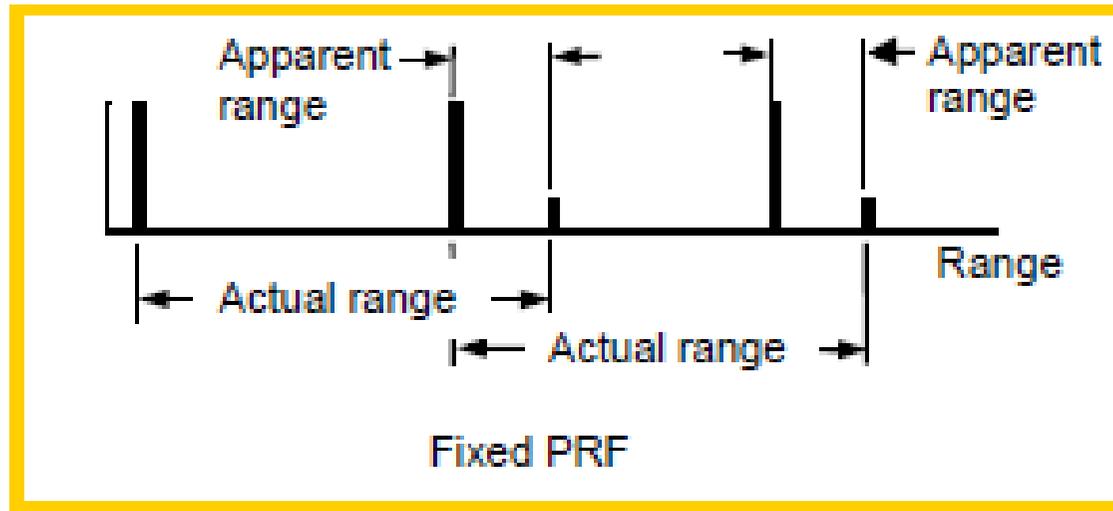
$$R_u = \frac{cT_p}{2} = \frac{c}{2f_p}$$

non ambiguo $\leq \frac{PRF}{2} \cdot c = \frac{PRF \cdot c}{2}$

Source of Multiple-Time Around Returns

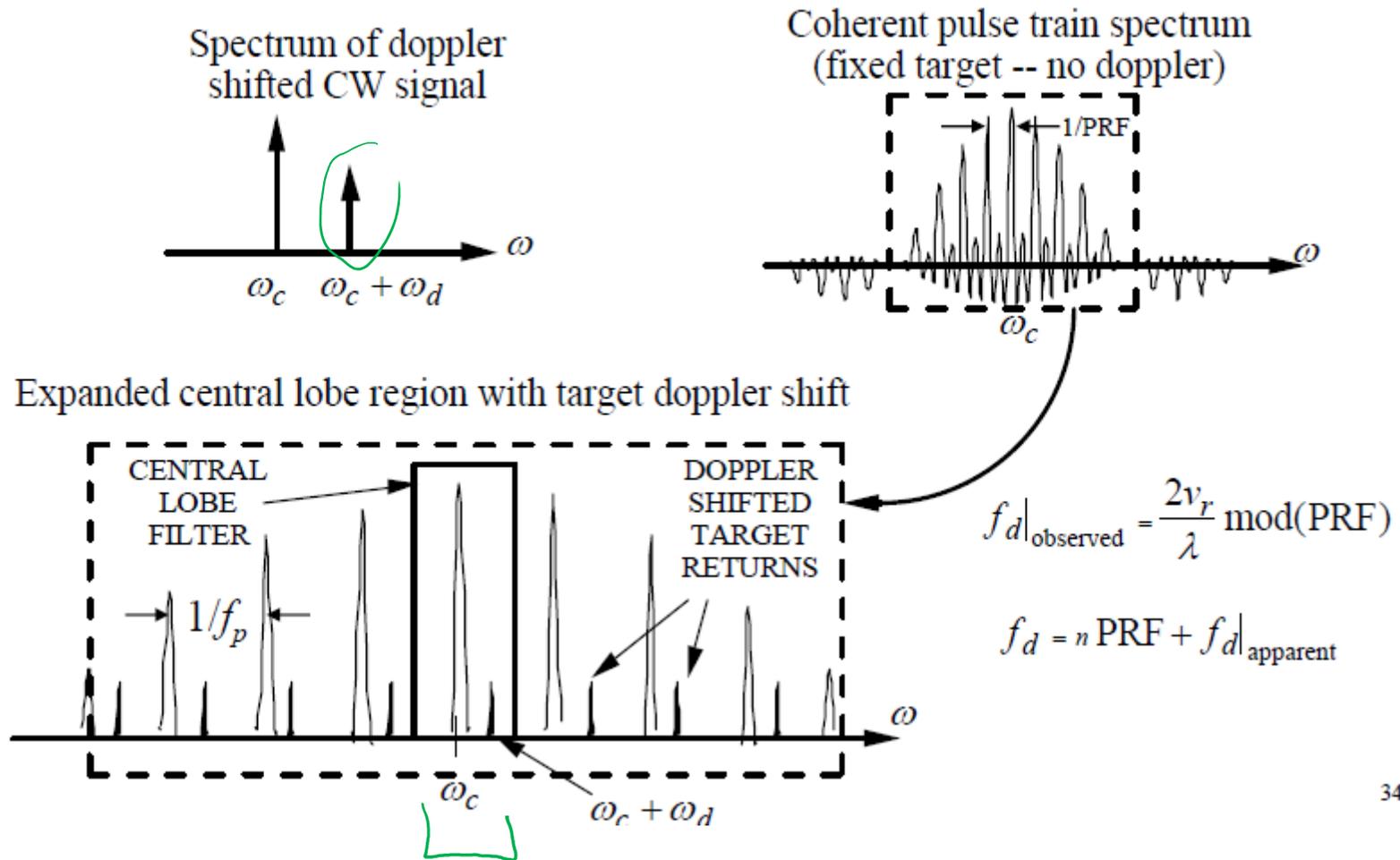
- Radar Pulses Often Transmitted at Periodic Intervals
 - Defined by the Pulse-repetition Interval
 - $PRI = 1 / PRF$
- Signal From Target at $R > c PRI / 2$ Arrives After Next Pulse Is Transmitted
 - May Be Interpreted As Return From the Later Pulse
 - Apparent Range Much Shorter Than Actual Range
- Mitigation Techniques
 - Variable PRF (Apparent Range Varies)
 - Frequency Agility (Not Applicable With Coherent Processing, e.g., MTI)

Multiple-Time Around Return & Variable PRF Mitigation



Velocity Ambiguities

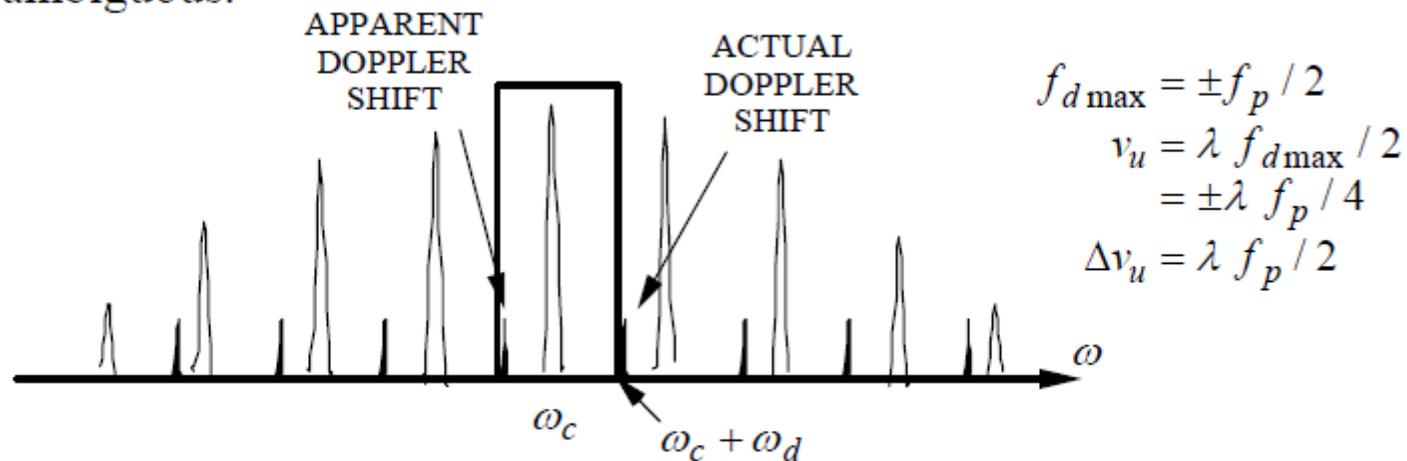
- The spectrum is the Fourier transform of the pulse train waveform.



34

Low, High & Medium PRF

- If f_d is increased the true target Doppler shifted return moves out of the passband and a lower sideband lobe enters. Thus the Doppler measurement is ambiguous.



- PRF determines Doppler and range ambiguities:

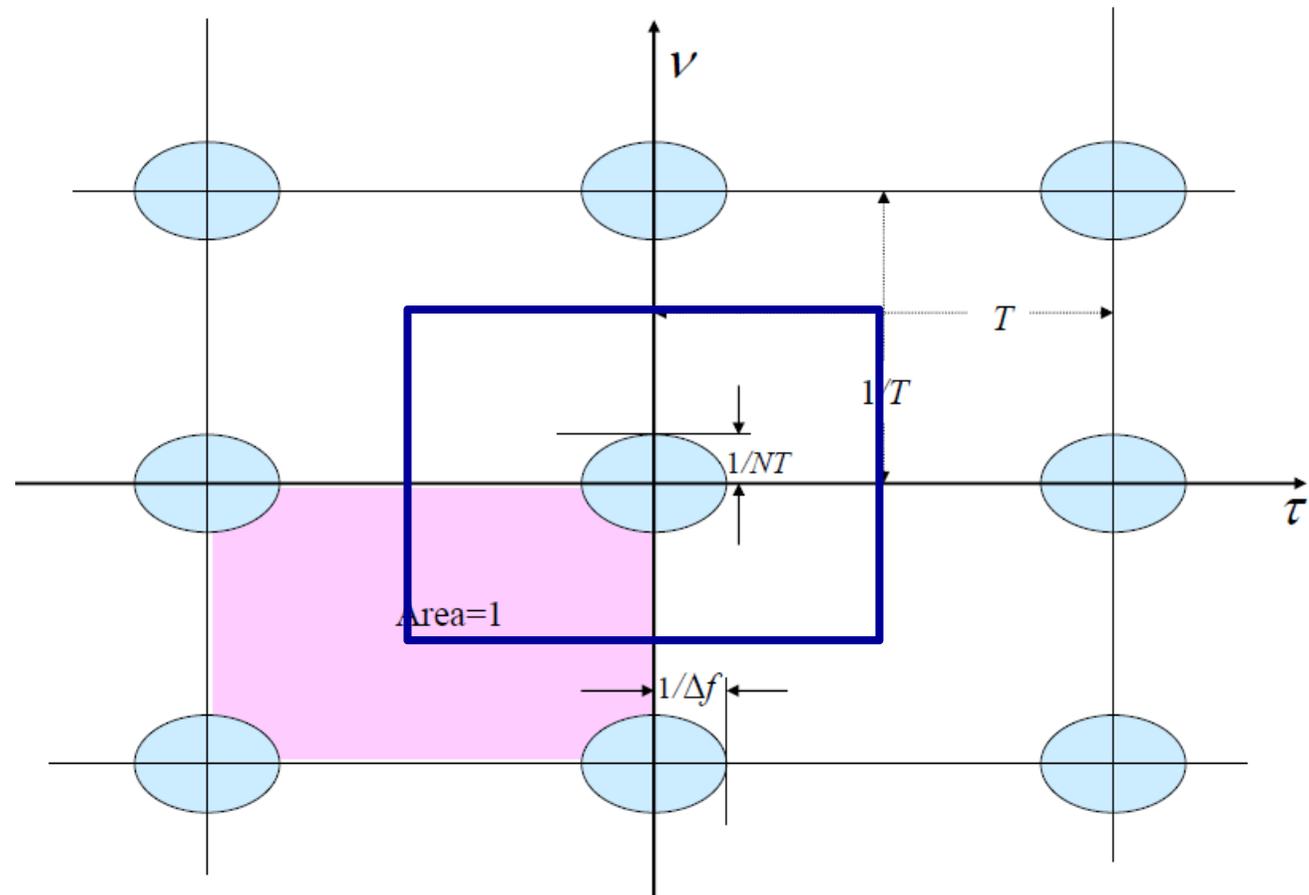
<u>PRF</u>
High
Medium
Low

<u>RANGE</u>
Ambiguous
Ambiguous
Unambiguous

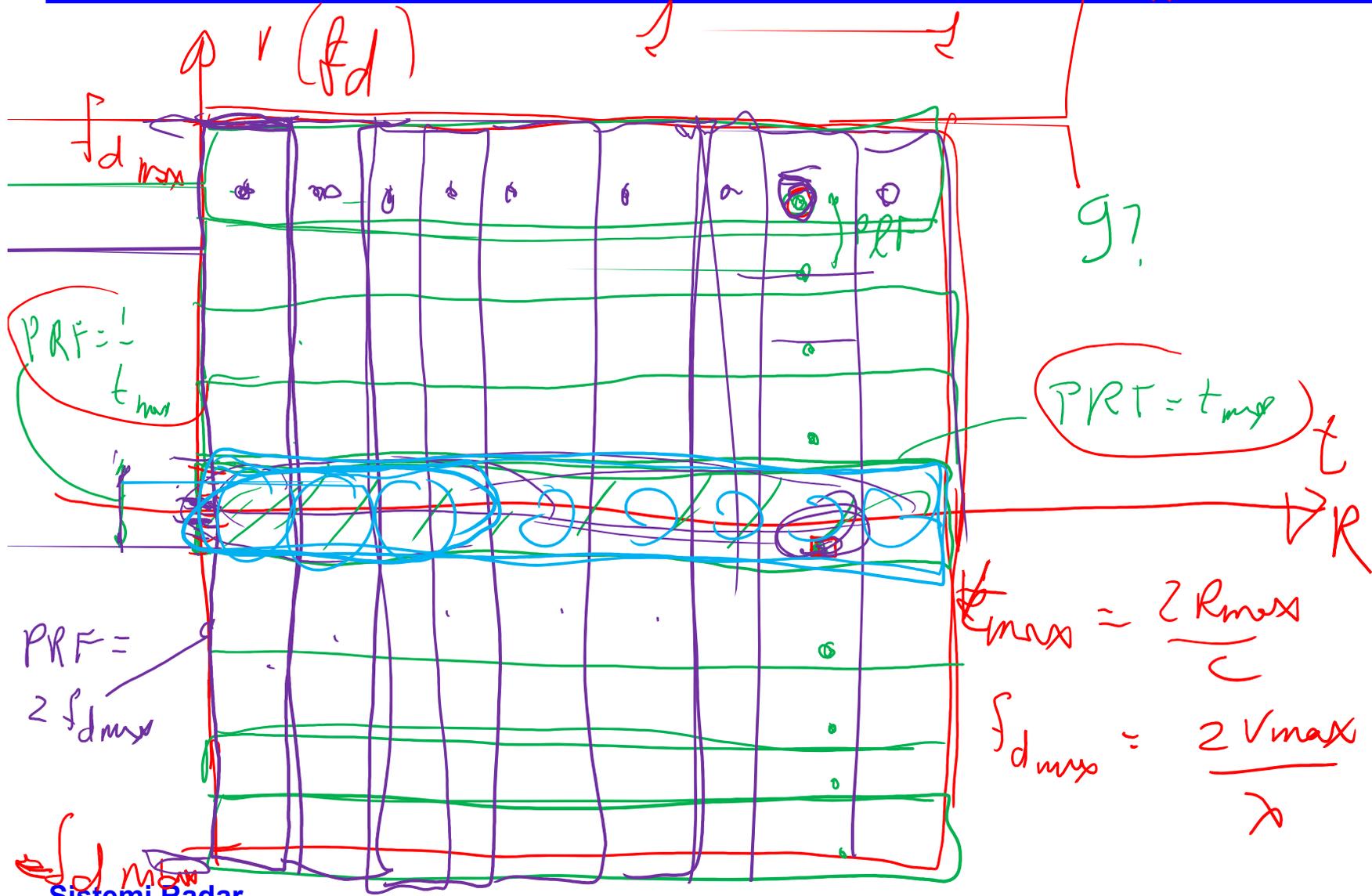
<u>DOPPLER</u>
Unambiguous
Ambiguous
Ambiguous

Area del piano delay-Doppler non ambigua

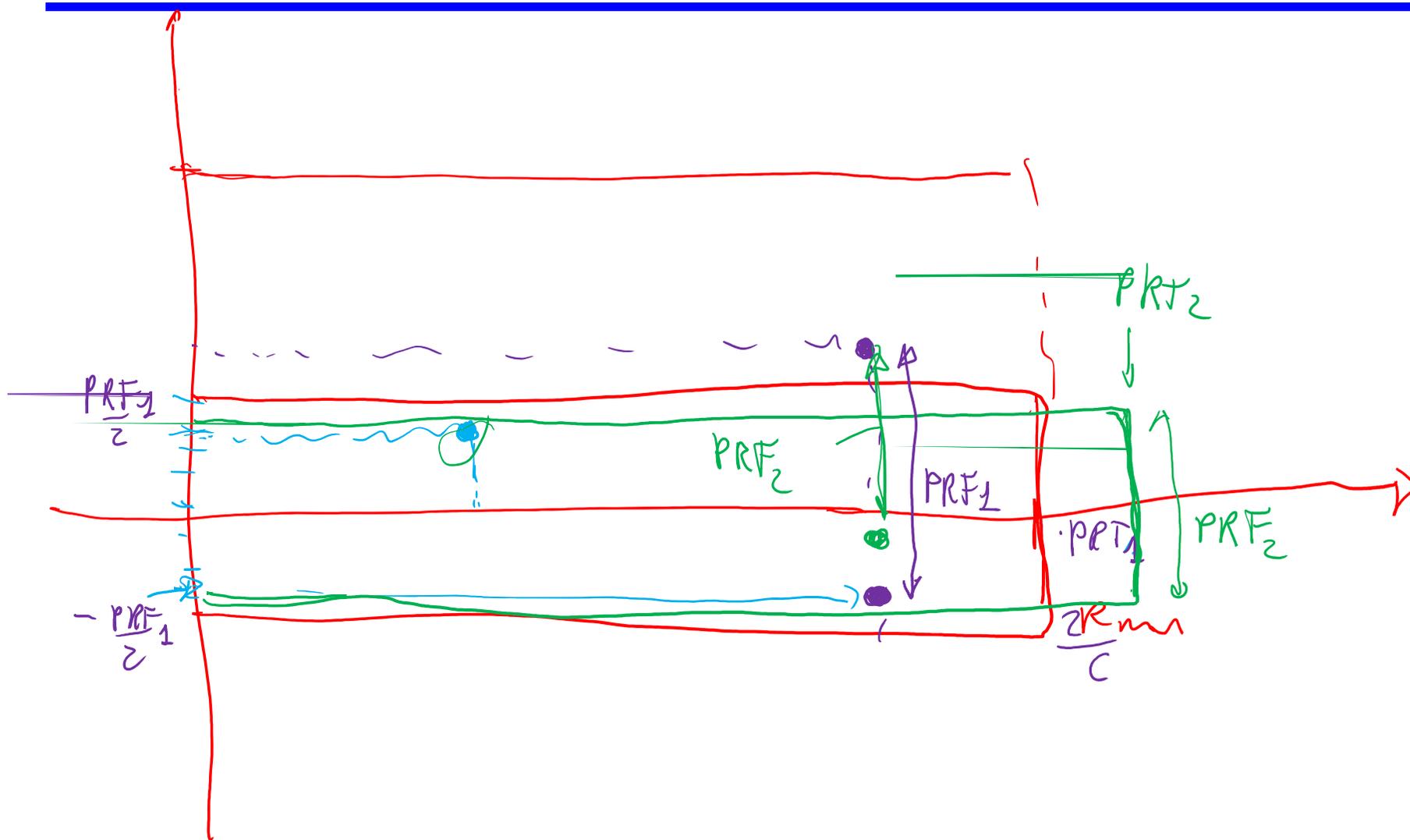
$N \gg 1$



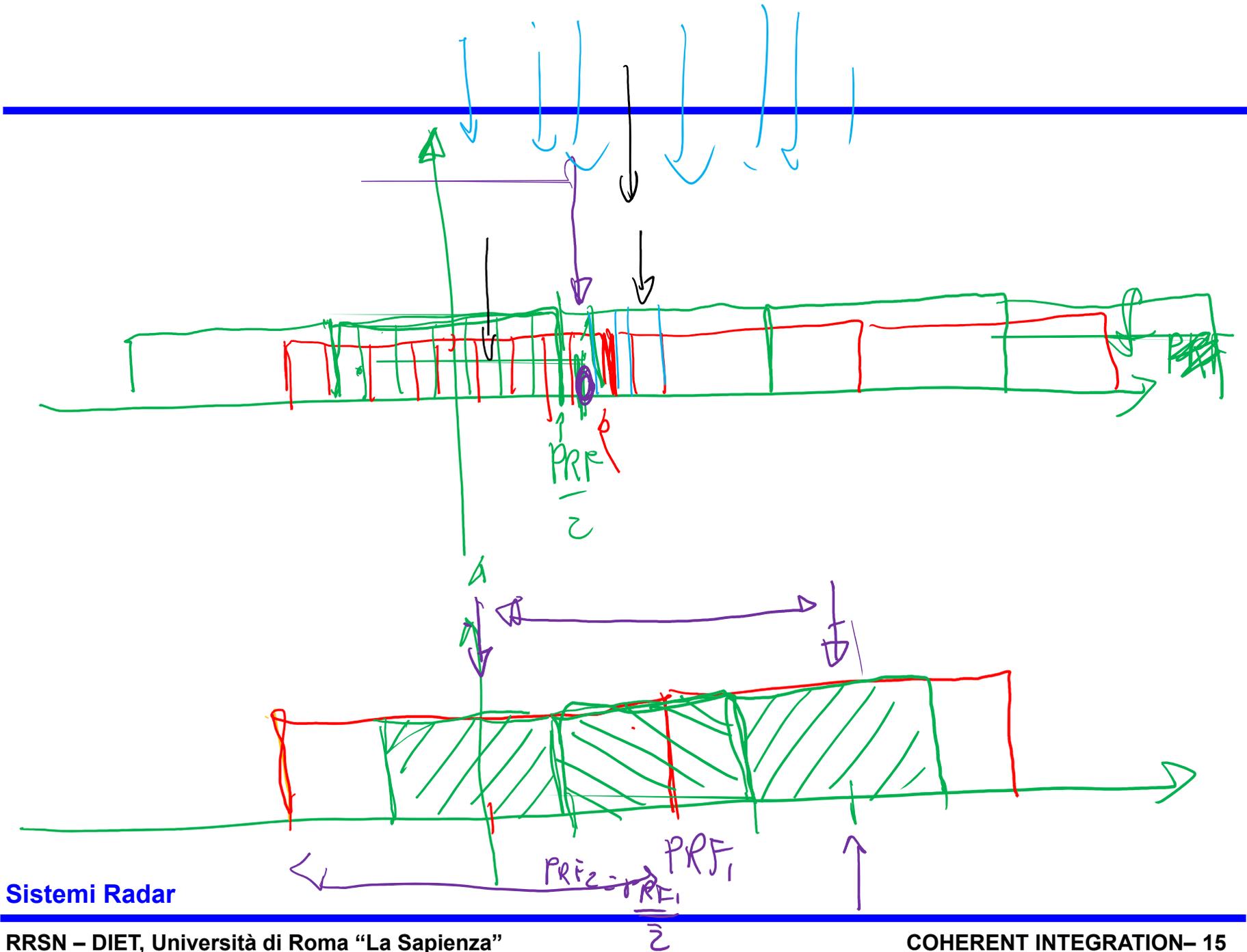
$$A = 2 f_{dmax} \cdot t_{max} = \frac{2 R_{max} V_{max}}{c}$$



Sistemi Radar



Sistemi Radar



PRF stagger

$$\cancel{PRF_2} = \frac{n}{m} PRF_1$$

$$PRF_2 = \frac{m-1}{m} PRF_1$$

$$PRF_2 = \frac{6}{7} PRF_1$$

$$\underline{PRF_1} \longrightarrow 6 PRF_1$$