مباحث ویژه
(پردازش سیگنال های راداری)

جبران سازی حرکت

نیم سال دوم ۰۵-۰۴

مقدمه

- فاز سیگنال دریافتی حوزه سمت به صورت زیر است: $\frac{4\pi R(\eta)}{\lambda}$
- الگوریتم تشکیل تصویر با فرض حرکت مستقیم رادار و سرعت ثابت، محاسبات را انجام می دهد.
- چند سوال:
  - اگر سکو از موقعیت اصلی خود منحرف شود، چه اتفاقی می افتد؟
    - عدم فشرده شدن کامل سیگنال سمت به دلیل عدم انطباق
  - چه مقدار انحراف به وسیله الگوریتم اصلی قابل تحمل است؟
    - با فرض پذیرش ۴۵ درجه خطای فاز:

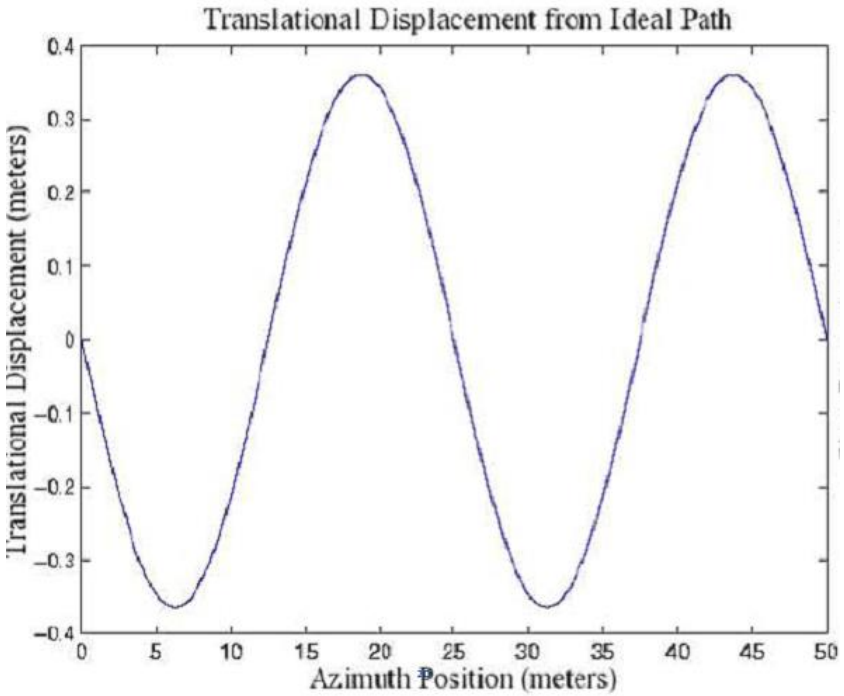
$$\frac{4\pi\Delta R}{\lambda} = \frac{\pi}{4} \Rightarrow \Delta R = \frac{\lambda}{16}$$

  - اگر مقدار انحراف بیش از مقدار فوق باشد، راهی برای جبران آن وجود دارد؟
    - بله!

مثالی از اثر خطای حرکت

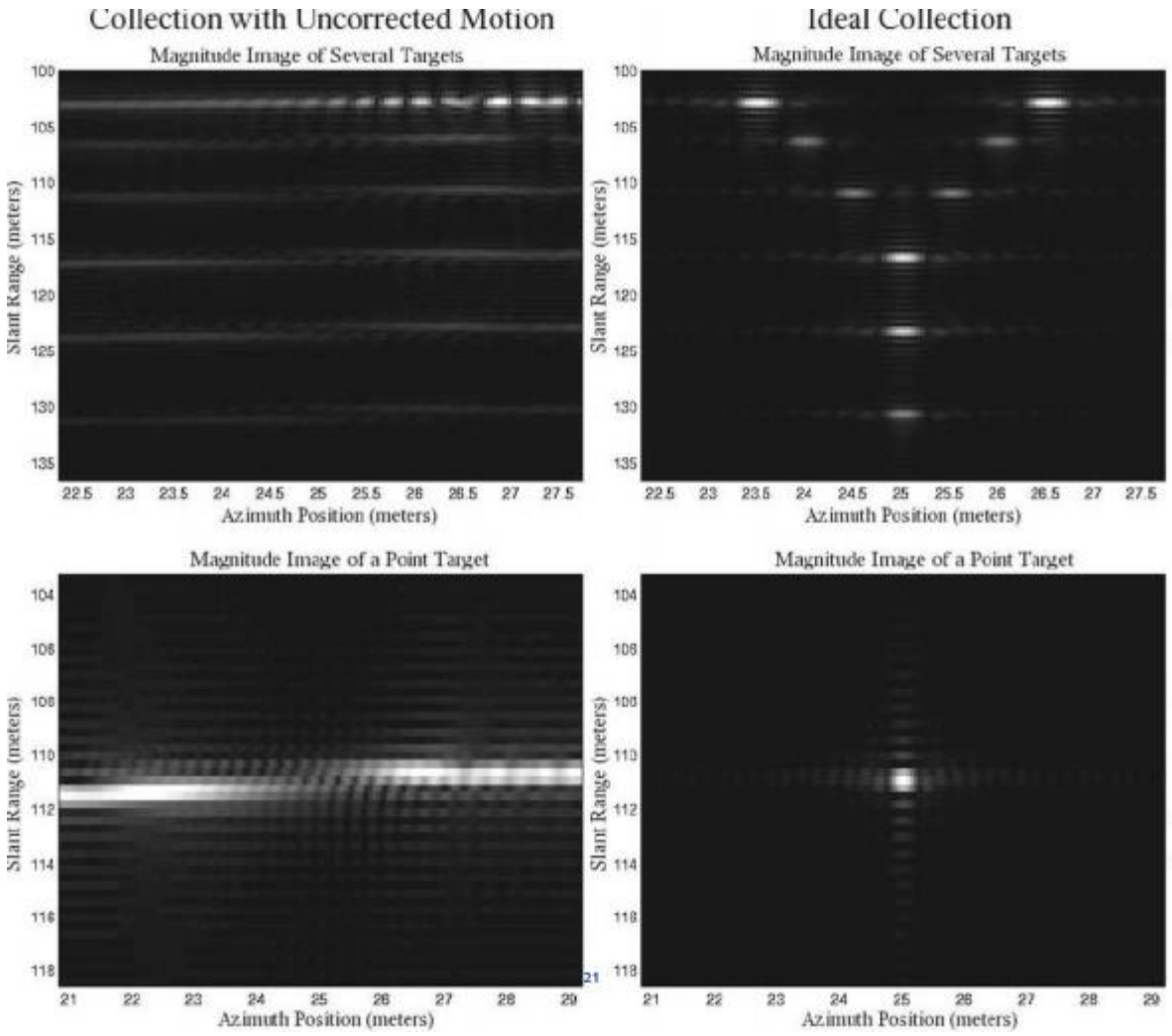
پارامترهای سیستم مورد نظر

Parameter	Value	Parameter	Value
Chirp Bandwidth	250MHz	Sampling Rate	327680Hz
Center Frequency	5.62GHz	Range Resolution	0.5996m
Azimuth Beam Width	12deg	Azimuth Resolution	0.1274m
Pulse Reputation Frequency	320Hz	Platform Velocity	25m/sec



- خطای حرکت

مثالی از اثر خطای حرکت



جبران سازی حرکت

- اثرات عدم جبران سازی:
  - محوشدگی
  - جابجایی
  - تکرار
  - افزایش گلبرگ کناری (سایدلوب)
- می توان گفت در سار با سکوی هوایی، بدون جبران سازی حرکت تصویر اصلا قابل استفاده نیست.
- نحوه جبران سازی:
  - با اندازه گیری موقعیت رادار هنگام ارسال هر پالس (MOCO)
  - با استفاده از ویژگی های خود داده دریافتی (Autofocus)

جبران سازی دقیق و غیر دقیق

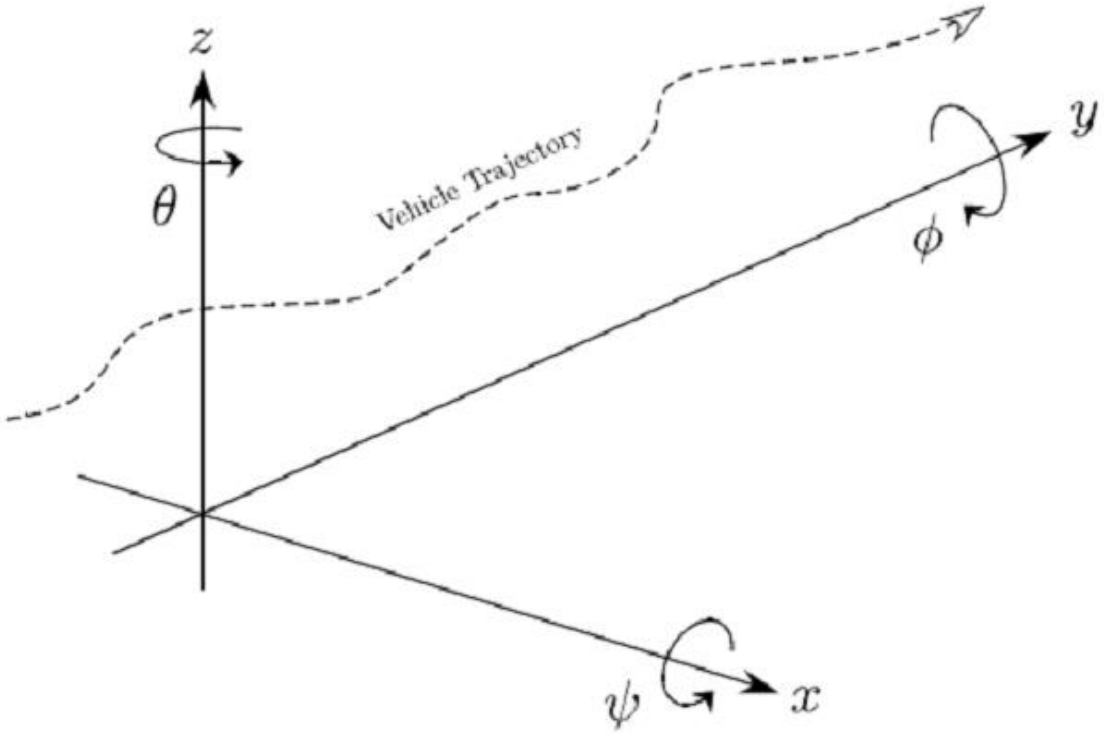
- اگر موقعیت رادار هنگام ارسال پالس ها به طور دقیق معلوم باشد، تصویر قابل بازسازی است.
- این روش حجم محاسباتی بالایی دارد، ضمن اینکه تعیین موقعیت دقیق اهداف به دستگاه های اندازه گیری گران قیمتی نیاز دارد که مقرون به صرفه نیست.
- می توان با استفاده از دستگاه های ناوبری با دقت متوسط، اثرات انحراف حرکتی را در سیگنال تاحدی اصلاح نمود. (MOCO)
- خطای باقی مانده در سیگنال پس از تشکیل تصویر به وسیله الگوریتم های خودمیزانی اصلاح می گردد.
- هر چه دقت سامانه ناوبری بیشتر باشد، کار الگوریتم خودمیزانی راحت تر است.

اندازه گیری موقعیت

- برای اندازه گیری موقعیت رادار معمولا از ترکیب سامانه ناوبری اینرسی (INS) و سامانه موقعیت یابی جهانی (GPS) استفاده می شود.
- INS شامل یک کامپیوتر، حسگرهای حرکت (شتاب سنج) و حسگرهای چرخش (ژیروسکوپ) است که برای اندازه گیری پیوسته شتاب، سرعت (با انتگرال گیری از شتاب) و موقعیت (با انتگرال گیری از سرعت) یک جسم متحرک بدون نیاز به مرجع خارجی استفاده می شود.
- به دلیل استفاده از انتگرال گیری، خطای INS در طول زمان افزایش می یابد، لذا معمولا از اطلاعات GPS به صورت مکمل برای کاهش خطای INS استفاده می شود.
- حجم، وزن و دقت INS از مواردی است که هنگام استفاده در یک سامانه SAR باید مورد توجه قرار گیرد. INS های پیشرفته بسیار گران هستند.

انحرافات حرکت و جهت

- هندسه حرکتی سکو و انحراف ها شامل انحراف حرکتی و انحراف جهت گیری (attitude)

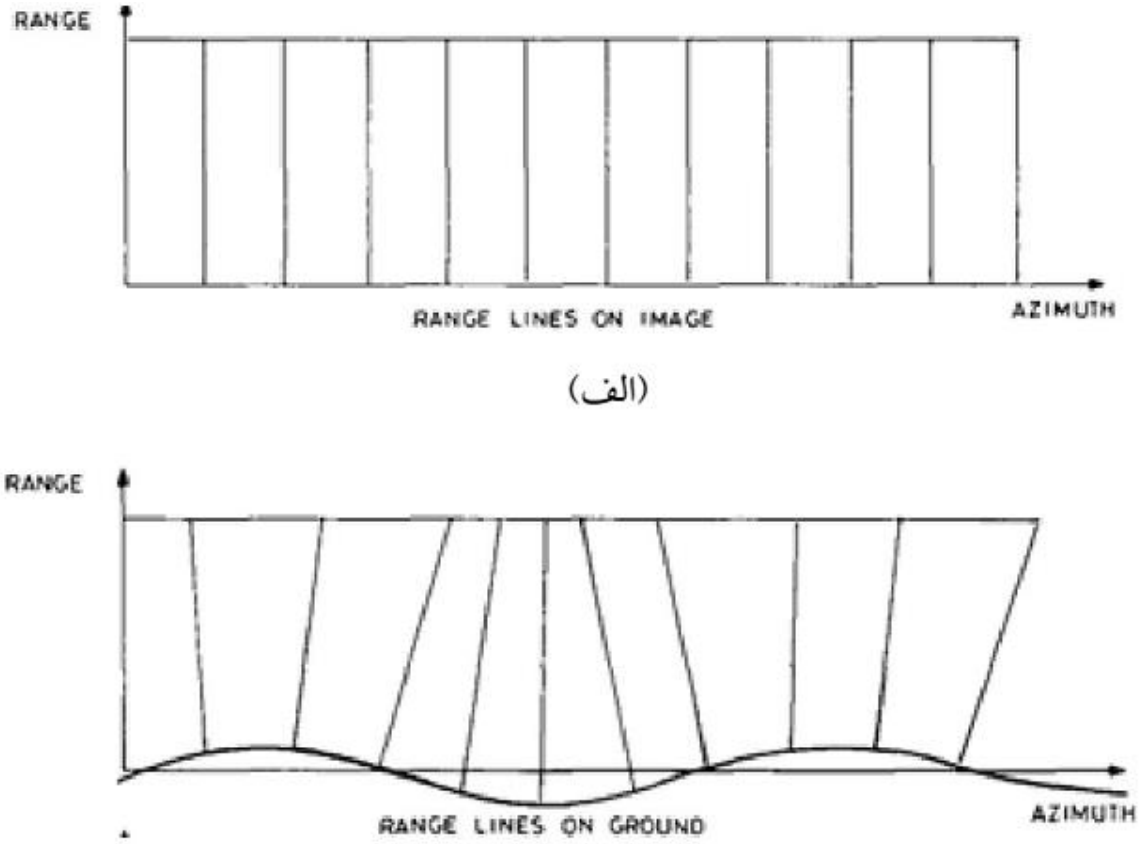


x	range (*sway*)
y	cross-range (*surge*)
z	altitude (*heave*)
ψ	pitch (*pitch*)
ϕ	roll (*roll*)
θ	heading (*yaw*)

اثر انحراف حرکت و جهت

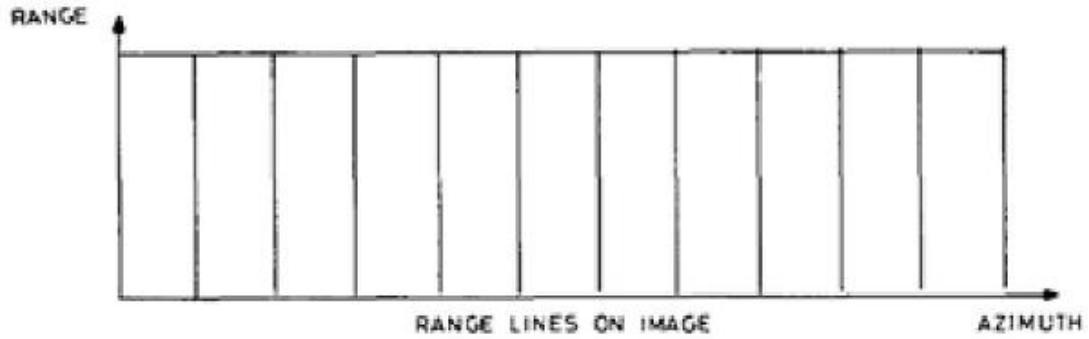
- انحراف حرکتی را می توان به انحراف در جهت خط دید رادار (LOS) و انحراف در جهت سمت (خطای سرعت) تقسیم بندی نمود.
- انحراف جهت گیری نیز ممکن است پیش بیاید که به سه انحراف در yaw، pitch و roll تقسیم می شود.
  - انحراف در yaw خود را به صورت لوچی نشان می دهد که با استفاده از INS و نیز تخمین مرکز داپلر قابل اندازه گیری است.
  - انحراف در pitch در مقادیر کم اثر چندانی ندارد، اما به طور کلی این اثر هم مانند لوچی در مرکز و شیب داپلر ظاهر می شود.
  - انحراف در roll در صورتی که باعث تغییر فاصله نشود اثری روی سابقه فاز اهداف ندارد، فقط ممکن است برخی اهداف از ردپا (footprint) خارج شوند، لذا معمولا عرض نوار کمتر از طول ردپا در نظر گرفته می شود تا در صورت به وجود آمدن مقدار کمی roll، نوار از ردپا خارج نشود.

اثر انحراف حرکت و جهت

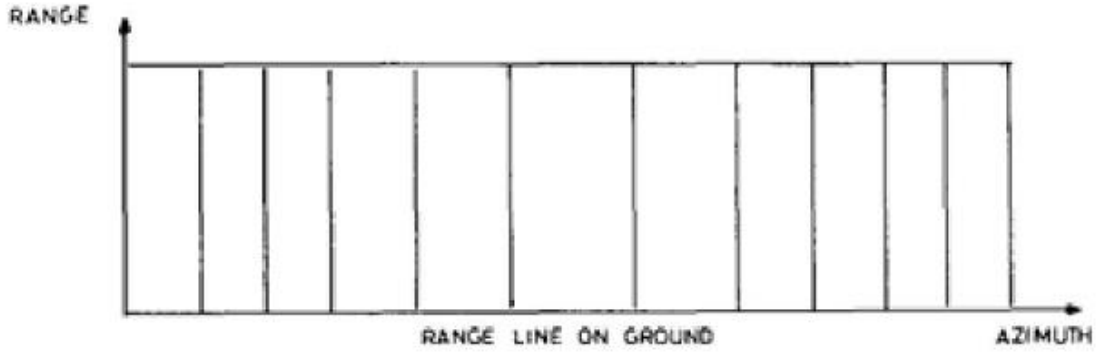


ایجاد لوچی و خطای فاز در اثر انحراف جهت و موقعیت رادار

اثر انحراف حرکت و جهت



(الف)

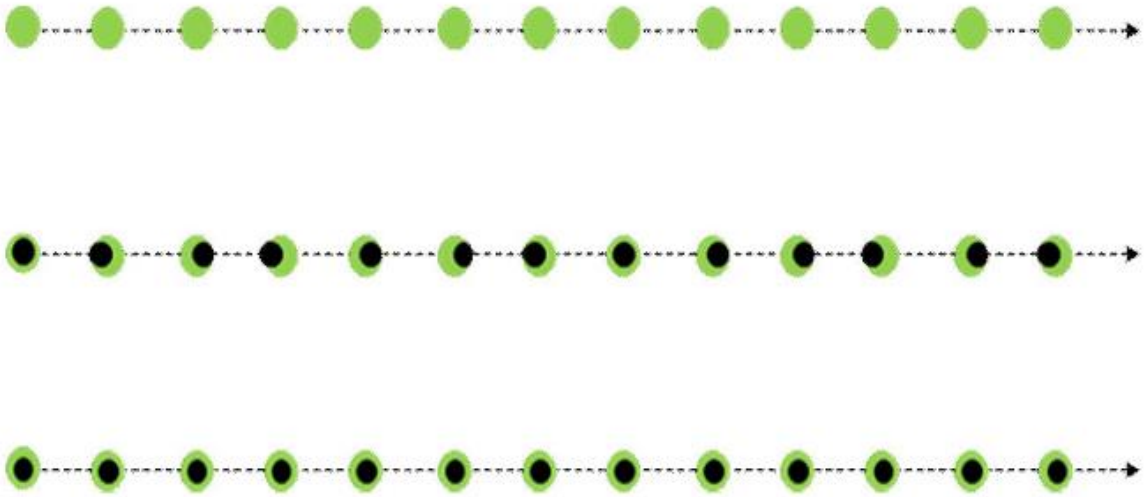


(ب)

خطای سرعت که باعث نامساوی بودن فاصله بین پالس ها می شود.

جبران سازی

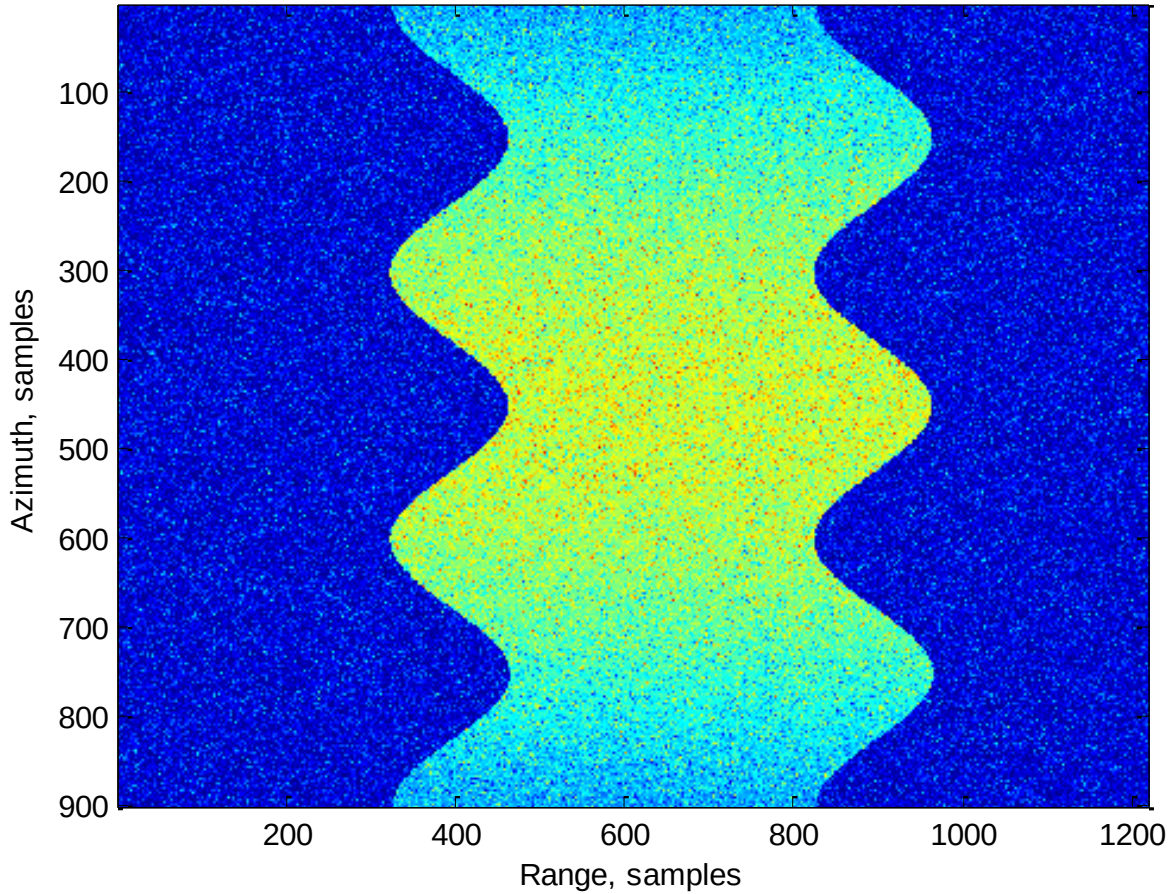
- سعی می شود با استفاده از پایدارکننده (stabilizer) انحرافات و نوسانات سکو به رادار منتقل نشود.
- خطای سرعت می تواند با استفاده از درون یابی داده دریافتی یا با تغییر داپلر اصلاح شود.



جبران سازی

- خطای جابجایی در جهت LOS می تواند دو مشکل ایجاد کند:
  - ۱- این خطا باعث تغییر فاز سیگنال دریافتی و در نتیجه متمرکز نشدن تصویر خواهد شد.
  - ۲- اگر مقدار این خطا بیش از یک واحد حد تفکیک در برد باشد، جابجایی (شیفت) در سیگنال برد نیز اتفاق می افتد که باید جبران شود.
- معمولا با استفاده از سیگنال سامانه ناوبری، مشکل دوم اصلاح می شود (به شرطی که دقت سامانه ناوبری بهتر از حد تفکیک در برد باشد) و ضمنا بخشی از خطای فاز نیز اصلاح می شود.
- این عملیات در چند مرحله (معمولا سه یا چهار مرحله) در الگوریتم تشکیل تصویر گنجانده می شود.
- مابقی خطای فاز باقی مانده با استفاده از الگوریتم های خودمیزانی اصلاح می شود.

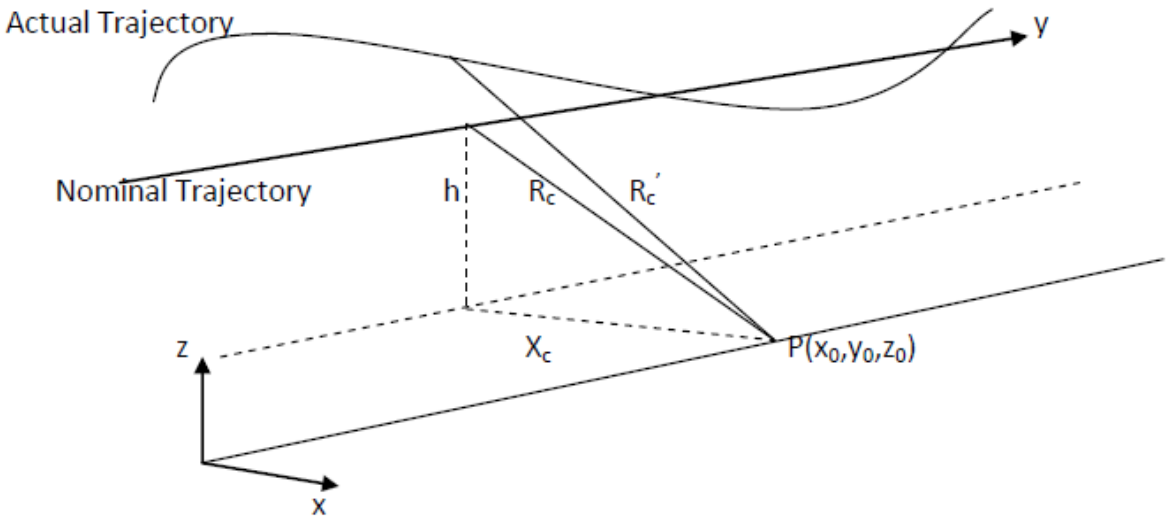
جبران سازی



جابجایی (شیفت) سلول های برد ناشی از انحراف حرکت

جبران سازی

- مراحل جبران سازی حرکت برای الگوریتم RDA
  - MOCO 0: تغییر PRF با اندازه گیری سرعت برای اینکه پالس ها با فاصله مساوی ارسال شوند. در غیر این صورت باید داده دریافتی در سمت درون یابی شود.
  - جبران NsRCM: تنظیم زمان شروع دریافت سیگنال بازگشتی با توجه به موقعیت و برد اندازه گیری شده به وسیله سامانه اندازه گیری موقعیت.
  - MOCO 1: ضرب سیگنال خام دریافتی در فاز اصلاحی مربوط به برد وسط

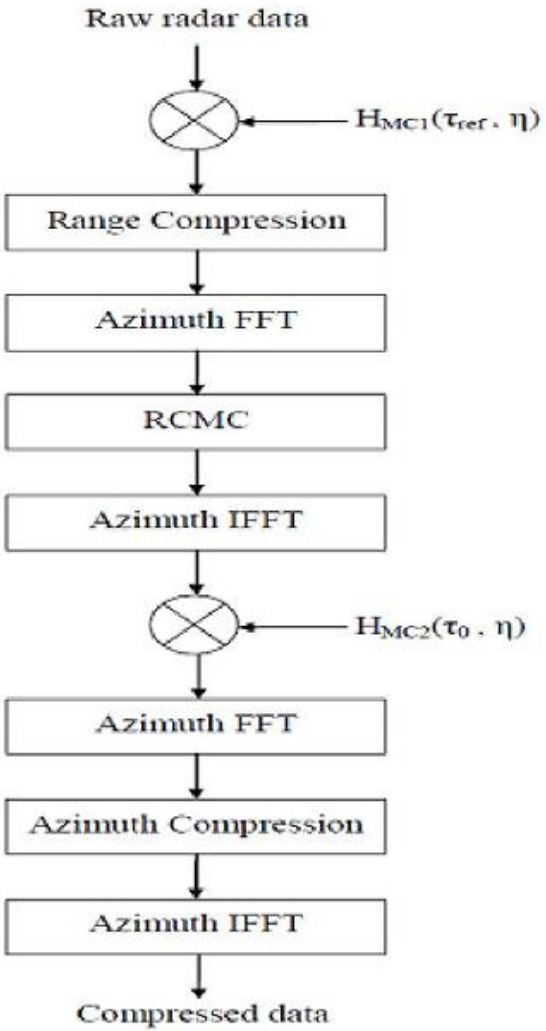


جبران سازی

- انتقال به حوزه برد-داپلر و انجام RCMC
- انتقال مجدد به حوزه برد-سمت
- MOCO 2: ضرب داده مربوط به هر سبد برد در فاز باقی مانده متناظر با آن برد
- انتقال به حوزه برد داپلر
- ضرب در فیلتر منطبق حوزه سمت
- تبدیل فوریه در سمت

- الگوریتم های تشکیل تصویر دیگر نیز مراحل مشابهی برای گنجاندن جبران سازی حرکت دارند که ممکن است تعداد مراحل جبران سازی در آنها متفاوت باشد.
- قابلیت یک الگوریتم در پذیرش جبران سازی حرکت از شاخص های کیفیت آن الگوریتم است.

جبران سازی

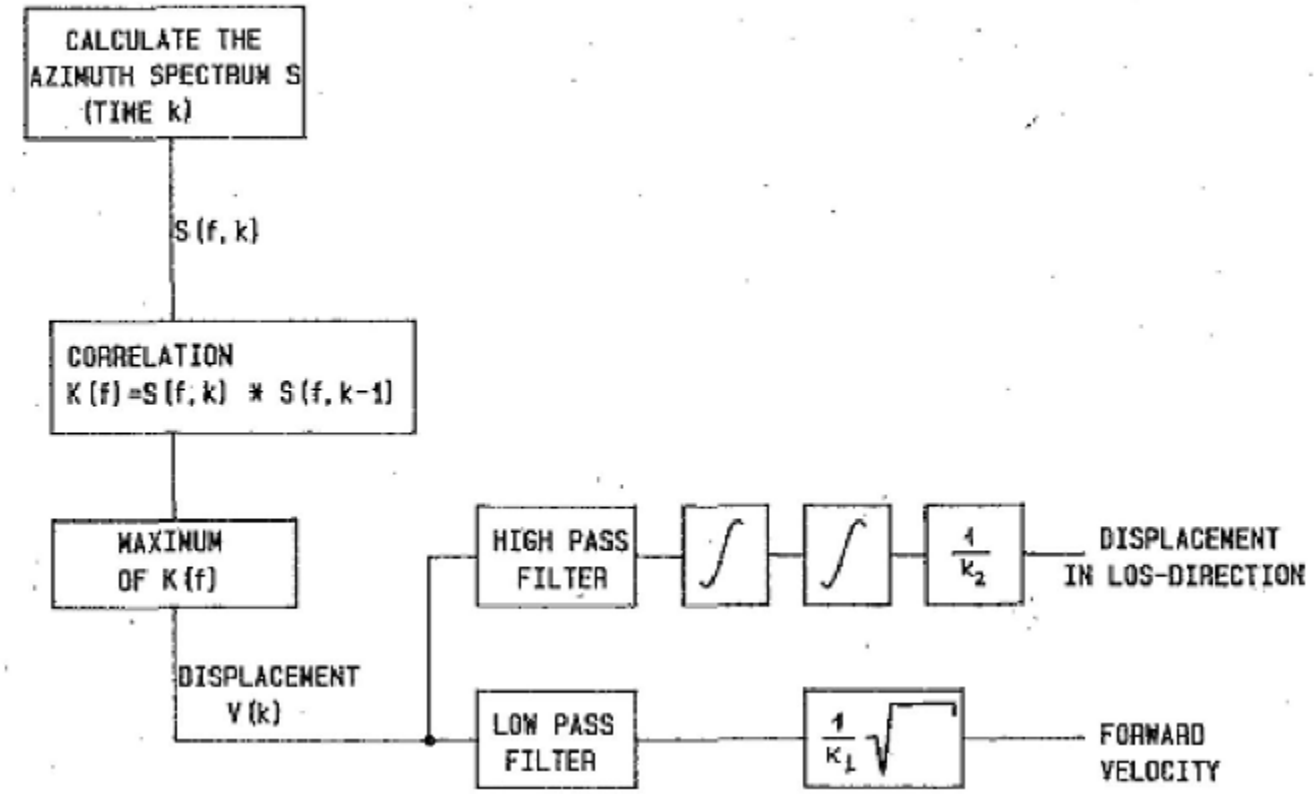

Raw radar data
$H_{MC1}(\tau_{ref}, \eta)$
Range Compression
Azimuth FFT
RCMC
Azimuth IFFT
$H_{MC2}(\tau_0, \eta)$
Azimuth FFT
Azimuth Compression
Azimuth IFFT
Compressed data

خودمیزانی (Autofocus)

- پس از جبران سازی حرکت با استفاده از داده موقعیت، باز هم تصویر نهایی دارای محو شدگی ها و اعوجاجاتی ناشی از خطای فاز باقی مانده است به دلیل:
  - دقیق نبودن سامانه ناوبری
  - تقریب الگوریتم ها
  - ...
- برای تخمین و اصلاح خطای فاز باقی مانده با استفاده از خود داده (تصویر)، از الگوریتم هایی استفاده می شود، مانند:
  - الگوریتم جابجایی بازتاب پذیری (RDM)
  - بهینه سازی کنتراست یا آنتروپی تصویر با سعی و خطا در تخمین فاز (COA و EOA)
  - خودمیزانی

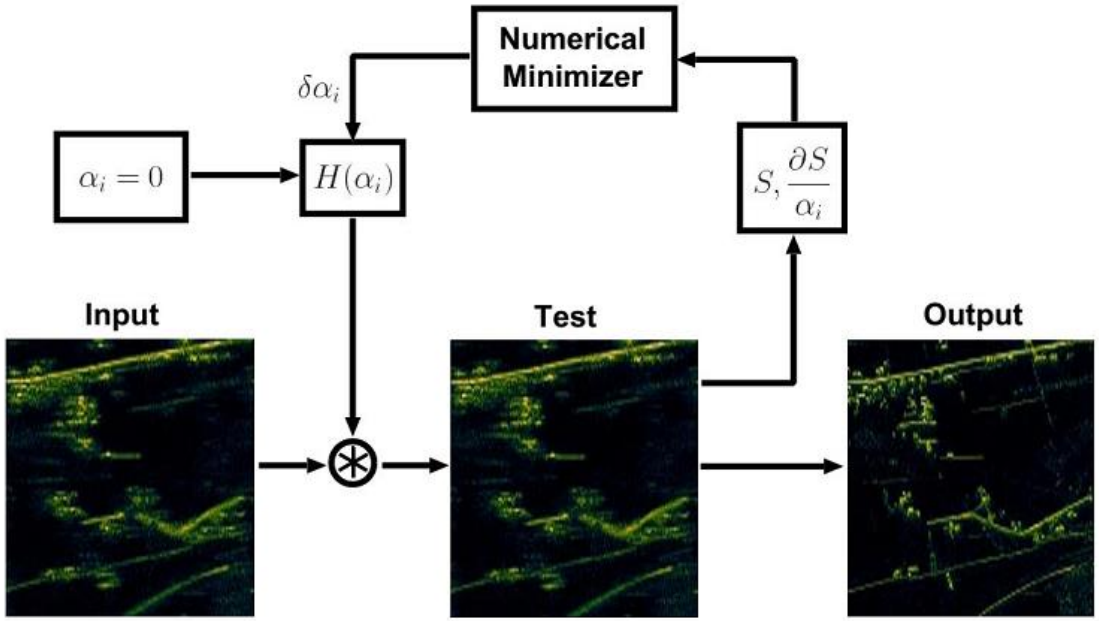
خودمیزانی

- روش RDM یک روش نسبتا قدیمی برای تخمین سرعت و جابجایی با استفاده از طیف سیگنال سمت است که امروزه کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.



خودمیزانی

- روش های مبتنی بر کنتراست و آنتروپی، یک فاز باقی مانده به صورت چند جمله ای با درجه مشخص فرض کرده و ضرایب را برای رسیدن به بیشترین کنتراست یا کمترین آنتروپی بهینه می کنند. این روش ها معمولا حجم محاسباتی بالایی دارند.



خودمیزانی به روش کمینه کردن آنتروپی

خودمیزانی

- نحوه محاسبه آنتروپی تصویر:

$$S(X) = -\sum_{n,m} p_{nm}\log(p_{nm})$$

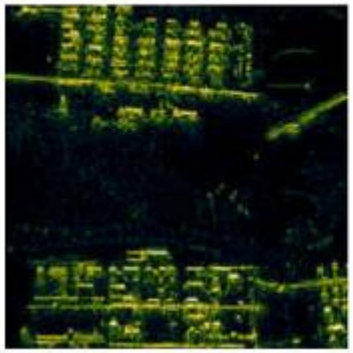
$$p_{nm} = \frac{|x_{nm}|^2}{P}$$

$$P = \sum_{n,m} |x_{nm}|^2$$

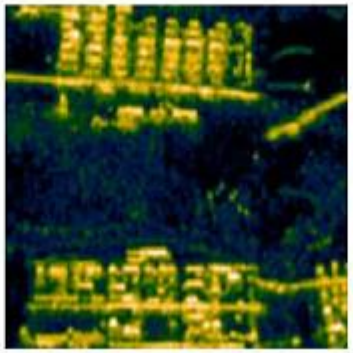
- یا به عبارتی:

$$S(X) = \log(P) - \frac{1}{P}\sum_{n,m} |x_{nm}|^2 \log(|x_{nm}|^2)$$

S = 10.585



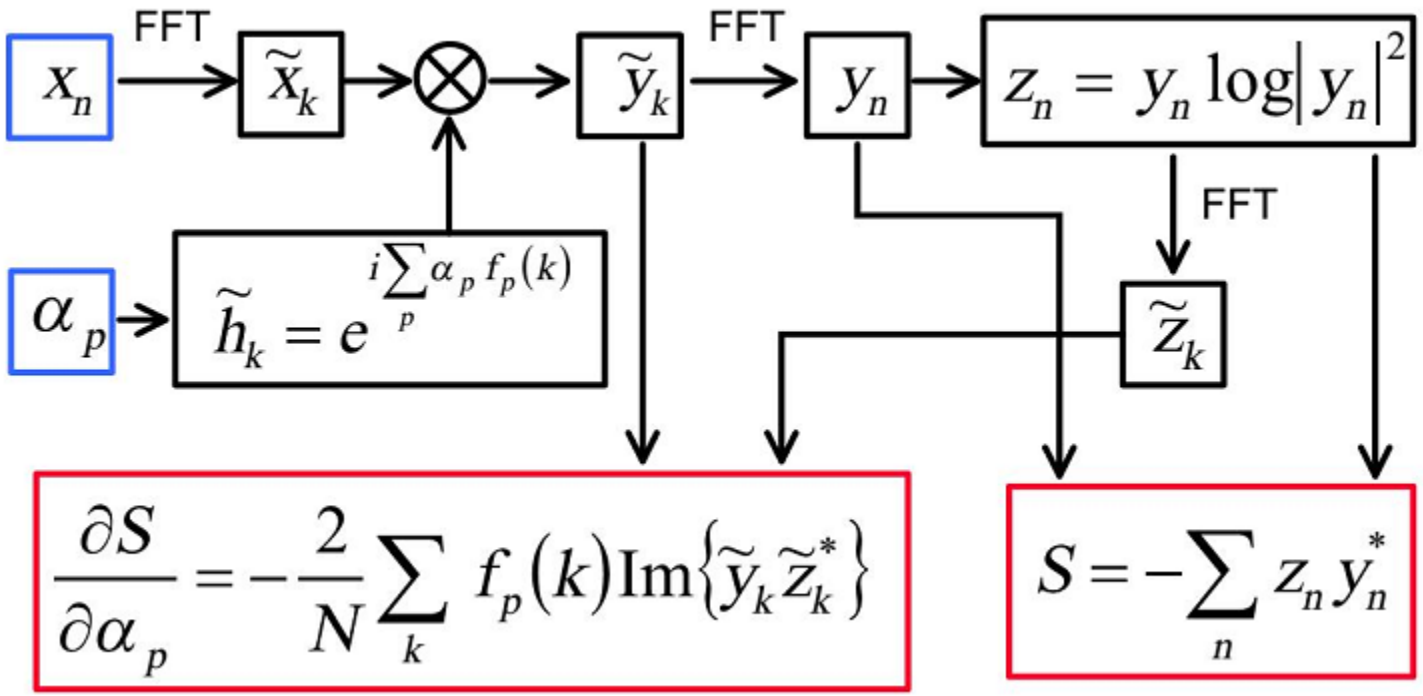
S = 11.245



S = 11.625

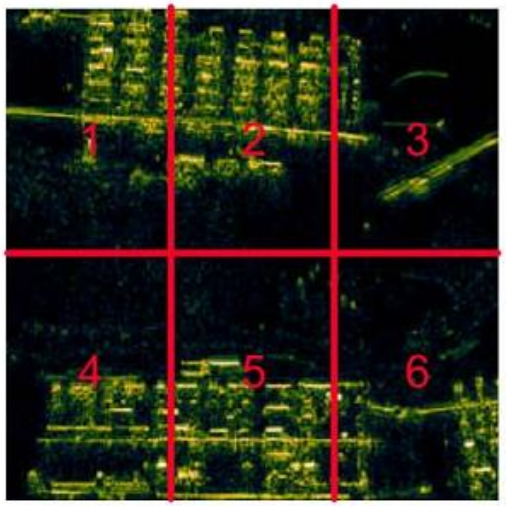
خودمیزانی

- نحوه محاسبه آنتروپی و گرادیان آن



خودمیزانی

- برخی خواص روش آنتروپی:
  - نامتغیر بودن با مقیاس (اگر همه پیکسل ها در عدد خاصی ضرب شوند، مقدار آنتروپی تغییر نخواهد کرد.)
  - نا متغیر بودن با جابجایی (اگر بلوکهای مختلف تصویر جابجا شوند، مقدار آنتروپی تغییر نخواهد کرد.)
  - زیرجمع پذیری (subadditivity):



$$S = \sum_k \rho_k S_k - \sum_k \rho_k \log \rho_k$$

$S_k =$ Entropy of region k

$\rho_k =$ Fraction of total power in region k

خودمیزانی

Original Image

Image Blurred with
Crossrange Quadratic Phase

Minimum-Entropy Autofocus

PGA