



## بهینه سازی دریافت زمان پرواز با استفاده از تحلیل موجک در یک فاصله یاب لیزری

پروانه ممیزان، محسن حاتمی

شیراز، دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده فیزیک، گروه فوتونیک

چکیده - اخیراً برای افزایش دقت فاصله یاب های لیزری بر اساس زمان پرواز از روشهای تبدیل موجک استفاده می کنند. در این نوع تحلیل شکل پالس، پهنای پالس فاصله یاب و ولتاژ آستانه از پارامترهای مهم هستند که بردقت فاصله یاب اثر می گذارند. در این مقاله با شکل ها و پهنای مختلف پالس به بهینه سازی حداکثر همبستگی جهت افزایش دقت محاسبه زمان پرواز پرداخته و نشان داده می شود که شکل ها و پارامترهای خاصی در تبدیلات شرایط بهینه را حاصل می کنند.

کلیدواژه- تبدیل موجک، زمان پرواز، فاصله یاب لیزری

## Optimization of Time of Flight by Using Wavelet Analysis in a Laser Range Finder

Parvane Momayezan, Mohsen Hatami

Photonic Group, Faculty of Physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- Recently for increasing the accuracy of range-finder in the base of flight time, have used wavelet transformation methods. In this kind of analysis, the shape, width and voltage of pulse are important parameters. In this paper we optimize the maximum correlation for increasing the accuracy of flight time, and we have shown a special shape and parameters in transformation are given optimized condition.

Keywords: Flight Time, Laser Range Finder, Wavelet Trans formation,.

## ۱- مقدمه

است.  $V_{th}$  ولتاژ آستانه است.  $V_{p1}$  دامنه ولتاژ فرستنده، و  $V_{p2}$  دامنه ولتاژ گیرنده  $t_r$  تاخیر لبه است.  $t_g$  که از اختلاف دو نقطه می تواند ناشی شود به صورت:

$$t_g = \frac{V_{th}}{V_{p2}} t_r - \frac{V_{th}}{V_{p1}} t_r = \left( \frac{1}{V_{p2}} - \frac{1}{V_{p1}} \right) V_{th} t_r \quad (2)$$

محاسبه می شود:

$R$  و  $C$  پارامترهای کلیدی هستند.

$$V_{out} = V_{in} \left[ 1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right] \quad (3)$$

و حداقل زمان تاخیر بیش از آستانه به شکل:

$$t_{d, \min} = -RC \ln \left( 1 - \frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = -RC \ln \left( 1 - \frac{V_{th}}{V_{in, \max}} \right) \quad (4)$$

محاسبه می شود [۲].

نقاط جهش در پالس ارسال شده و پژواک دریافتی با ماکسیما مدول  $CWT$  تجزیه و تحلیل می شوند.  $CWT$  برای تشخیص تکنیکی سیگنال موثر می باشد.

## ۲- مراحل روش پیشنهادی

فرض می شود معادله ای به شکل:

$$f(t) \in L^2(R) \quad (5)$$

وجود دارد.

و تعریف  $CWT$  از  $f$  با توجه به معادله ی:

$$W_{\psi} f(s, u) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi^* \left( \frac{t-u}{s} \right) dt \quad (6)$$

بدست می آید.

که  $S \neq 0$  و  $t, u$  متغیرهای پیوسته می باشند،  $\psi^*$

معادل مختلط است که  $\psi^* = \left( \frac{t-u}{s} \right)$  موجک مورد نظر

انتخاب شده و  $f(t)$  معادل:

$$\left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right) = 1 - e^{-t/RC} \quad (7)$$

قرار داده می شود و با قرار دادن موجک های مختلف بهینه سازی زمان رفت و برگشت پالس در فاصله یاب های لیزری مورد بررسی قرار خواهد گرفت. اساس و پایه موجک ها

یکی از کاربردهای لیزر استفاده از آن در اندازه گیری مسافت است. از آن جمله می توان به فاصله یاب ها در ادوات و وسایل نقلیه ی جنگی مانند تانک ها و موشک ها اشاره کرد. فاصله یاب های لیزری برای مسافت های کوتاه از روش تداخل سنجی و برای مسافت های بالا از روش زمان پرواز استفاده می کنند. در روش زمان پرواز، پالس کوتاهی که از هدف برمی گردد توسط گیرنده اپتیکی بر روی آشکارساز جمع شده و تقویت می شود سپس با استفاده از زمان رفت و برگشت، فاصله محاسبه می شود. سپس از یک کرنومتر سرعت بالا برای اندازه گیری زمان نوری که از هدف برمی گردد، استفاده می کنند. فاصله طی شده برابر است با نیمی از حاصل ضرب سرعت توزیع لیزر در اتمسفر در مدت زمانی که یک پالس برای یک رفت و برگشت طی می کند [۱]

$$L = \left( \frac{1}{2} \right) V (t_1 - t_0) \quad (1)$$

عوامل موثر بر دقت پالس لیزر را می توان به عوامل داخلی و عوامل خارجی تقسیم کرد:

عوامل خارجی که شامل تغییر ضریب شکست جو، شرایط سطح منعکس کننده از اهداف اندازه گیری که قابل کنترل نیستند و عوامل داخلی که توسط خود سیستم ایجاد می شوند شامل پهنای باند سیستم، شناسایی زمان پالس، زمان دقت اندازه گیری و غیره... به منظور تعیین دقیق لحظه پژواک لیزر و بهبود دقت لیزر، روش اختلاف زمان مناسب است. در حالت ایده آل پژواک بازگشتی می تواند به عنوان شکل موج گاوسی دیده شود. در واقع با توجه به تضعیف و اختلال ناشی از گرد و غبار، دود و بخار آب مسیر، شکل موج دریافتی (پژواک) درگسترش و اعوجاج متفاوت است. این نتایج در خطای گام به گام به طور جدی بر دقت لیزر تاثیر می گذارد و خطای اختلاف گام باعث تغییرات در دامنه می شود.

خطای گام را به دو قسمت تقسیم می کنند. یک بخش  $t_g$  است که با تغییر زمان نقطه ای آستانه پالس ساطع شده ایجاد و به عنوان خطای گام هندسی نامیده می شود. بخش دیگر  $t_d$  است که توسط تاخیر مدار  $RC$  ایجاد می شود که خطای تاخیر  $RC$  می نامند.  $V_{clip}$  ولتاژ قطع اشباع است. خطای گام هندسی با مدل خطی پالس برآورد شده

پایه و توابع پایه (موجک ها) می باشد. یعنی شباهت سنجی بین محتوای فرکانسی است. تبدیل موجک پیوسته: روشی جایگزین تبدیل فوریه است. در این روش سیگنال موردنظر در یک تابع موجک ضرب می شود که نقش همان تابع پنجره را دارد همچنین تبدیل موجک به طور جداگانه ای بر روی قطعه های زمانی مختلف سیگنال اثر می گذارد. معادله تبدیل موجک پیوسته:

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \psi_x^\psi(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int_{-\infty}^{\infty} X(t) \psi^*\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (10)$$

$\tau, s$  پارامترهای انتقال و مقیاس می باشند. در پارامتر

$$S = \left(\frac{1}{f}\right) \text{ مقیاس رابطه } S \text{ برقرار است.}$$

تعریف موجک، موج کوچک می باشد به این دلیل موج کوچک گفته می شود که به محدود بودن و کوتاه بودن تابع پنجره مربوط می شود. در تبدیل موجک مقیاس های بزرگ متناظر با فرکانس های پایین و مقیاس های کوچک متناظر با فرکانس بالا است. فاکتور مقیاس، سیگنال را منبسط یا منقبض می کند. در مقیاس های بالا با منبسط شدن سیگنال جزئیات و در مقیاس های پایین با منقبض شدن آن کلیات مطرح می شود. با توجه به فرمول بالا متغیر مقیاس در مخرج سیگنال ظاهر می شود بنابراین به ازاء  $s > 1$  سیگنال منبسط و به ازاء کمتر از ۱ منقبض و یا فشرده می شود. [۷]

#### ۴- محاسبات

موجک هایی که در محاسبات بررسی خواهند شد: (۱) معادله موجک کلاه مکزیکی: مشتق دوم تابع گاوسی است.

$$CWT_x^\psi(\tau, s) = \psi(t) = \frac{d^2}{dt^2} \left( \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \right) = \quad (11)$$

$$\frac{1}{\sigma^3} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left( e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \left( \frac{t^2}{\sigma^2} - 1 \right) \right)$$

(۲) معادله موجک مورلت: که شامل یک جمله گاوسی و یک جمله مدولاسیون است.

$$\psi(t) = \left( e^{\frac{jt}{a}} * e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \right) \quad (12)$$

(۳) معادله موجک سوپر گاوسی:

$$\psi(t) = \exp \left[ -\frac{1+iC}{2} \left( \frac{t}{t_0} \right)^{2m} \right] \quad (13)$$

مختلف است (گاوسی، دسی بل، هارر، کلاه مکزیکی و مورلت).

سیگنال های اصلی پالس ساطع می شود و پژواک دریافتی بر اساس موجک هایی که در بالا بیان شد تجزیه خواهد شد [۳-۶]. برای بیان مفهوم محتوای فرکانسی یک سیگنال از تبدیل فوریه استفاده می شود. تبدیل فوریه پیوسته در  $x(t)$ :

$$x(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (8)$$

تبدیل فوریه در مواردی که فرکانس متغیر است ناکارآمد است که به آنها سیگنال های نایستا می گویند.

تبدیل فوریه فقط بیان می کند که فرکانس مورد نظر در سیگنال وجود دارد یا خیر. اما بازه زمانی متناظر با پدیداری آن فرکانس را در اختیار نمی گذارد بنابراین تبدیل فوریه در آنالیز سیگنال نایستا ضعیف می باشد.

اندازه پنجره موجک مورد نظر باید به گونه ای انتخاب شود که فرض ایستا بودن برای تمام بخش های جدا شده توسط آن برقرار شود.

تبدیل فوریه زمان کوتاه سیگنال  $x(t)$  با استفاده از پنجره زمانی  $w(t)$  به صورت:

$$STFT_x^w(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) W^*(t-\tau) e^{-j2\pi ft} dt \quad (9)$$

است.

می  $\tau$  متغیر زمانی است ابتدا تابع پنجره در سیگنال ضرب شود، محاسبه می گردد و سپس پنجره به میزان  $\tau$  جا به جا می شود و روند قبل مجدداً تکرار می شود. در حوزه فرکانس عاملی که باعث ایجاد وضوح فرکانسی می شود،  $e^{-j2\pi ft}$  است. که در تمام زمان ها از  $-\infty$  تا  $\infty$  حضور دارد. برای اینکه یک پنجره ای انتخاب شود که در عین حفظ اعتبار ایستایی وضوح فرکانسی و زمانی قابل قبولی داشته باشد موجک انتخاب می گردد. تبدیل موجک به عنوان ابزاری برای آنالیز تفکیک وضوح معرفی خواهد شد. آنالیز تفکیک وضوح به تحلیل سیگنال در فرکانس های مختلف با وضوح های متفاوت گفته می شود.

#### ۳- تبدیل موجک

تبدیل موجک در حقیقت اندازه گیری شباهت بین سیگنال

## ۵- نتیجه گیری

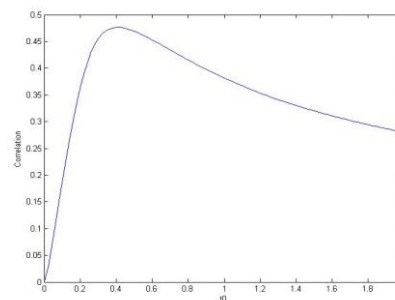
همانطور که بحث شد برای افزایش دقت فاصله یاب های لیزری بر اساس زمان پرواز از روش های تبدیل موجک استفاده می کنند. در این نوع تحلیل عواملی که بر دقت فاصله یاب اثر می گذارند شامل شکل پالس، پهنای پالس فاصله یاب و ولتاژ آستانه می باشند. در این مقاله با استفاده از همبستگی بین سیگنال آشکارساز و سیگنال دریافتی یک پالس و همچنین همبستگی بین آن ها به افزایش دقت محاسبه زمان پرواز و شکل ها و پهنای مختلف پالس به بهینه سازی حداکثر همبستگی پرداخته شده و نشان داده شده است که شکل ها و پارامترهای خاص در تبدیلات، شرایط بهینه را حاصل می کنند. در مدل گاوسی با افزایش پهنای پالس همبستگی بیشتر می شود تا در نقطه ۰,۴ میلی ثانیه به ماکزیمم مقدار خود می رسد و پس از آن با افزایش پهنای پالس مقدار همبستگی به آرامی کاهش می یابد. در مدل سوپر گاوسی، با افزایش پهنای پالس همبستگی نیز افزایش می یابد که در واقع با افزایش مرتبه  $m$  نیز در ارتباط است. مدل کلاه مکزیکی تفاوتی که با مدل گاوسی دارد در این است که پس از ماکزیمم مقدار در نقطه ۰,۴ همبستگی به آرامی کاهش می یابد و مدل مورلت پس از نقطه ۰,۴ همبستگی آن با شیب بیشتری نسبت به مدل گاوسی و مدل کلاه مکزیکی کاهش می یابد.

## مراجع

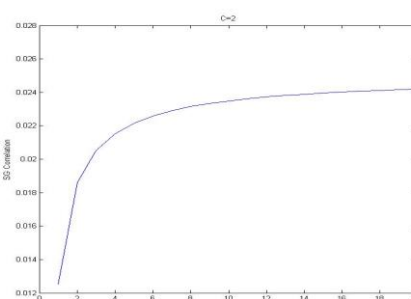
- [1] G. Bazin, B. Journet, "A new laser range finder based on FMCW-like method", IEEE Trans Instrum. Meas., 1996.
- [2] J. Xiao, M. Lopez, X. Hu, J. Xiao, F. Yan, "A continuous wavelet transform-based modulus maxima approach for the walk error compensation of pulsed time-of-flight laser rangefinders", Opt. J. Light Electron Opt., Vol. 127, no. 4, pp. 1980-1987, 2016.
- [3] K. H. Thiel, A. Wehr, "Performance capabilities of laser-scanners - an overview and measurement principle analysis", Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., Vol. 36, No. 8, pp. 14-18, 2004.
- [4] P. Palojärvi, T. Ruotsalainen, J. Kostamovaara, "A 250-MHz BiCMOS receiver channel with leading edge timing discriminator for a pulsed time-of-flight laser rangefinder", IEEE J. Solid-State Circuits., Vol. 40, No. 6, pp. 1341-1349, 2005.
- [5] S. Kurtti, J. Kostamovaara, "An integrated laser radar receiver channel utilizing time-domain walk error compensation scheme", IEEE Trans. Instrum. Meas. Vol. 60, No. 1, pp. 146-157, 2011.
- [6] X. Ma, A. J. Peyton, "Feature detection and monitoring of eddy current imaging data by means of wavelet based singularity analysis", NDT & E Int., Vol. 43, No. 8, pp. 687-694, 2010.
- [7] A. Mertins, *Signal Analysis*, John Wiley, p. 215, 1999.

(۴) معادله موجک گاوسی:

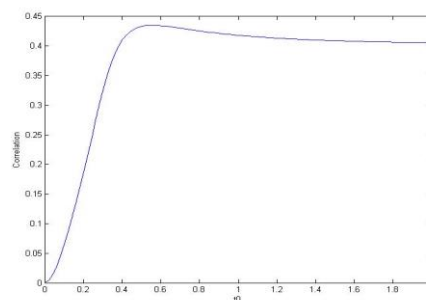
$$\psi(t) = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (14)$$



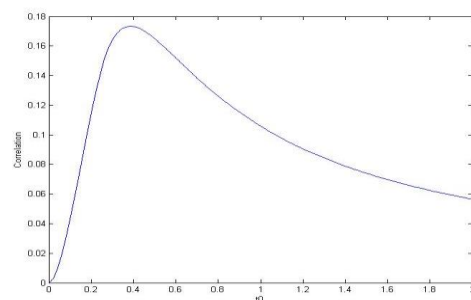
شکل ۱: همبستگی سیگنال دریافتی با معادله گاوسی بر حسب پهنای پالس



شکل ۲: همبستگی سیگنال دریافتی با مدل سوپر گاوسی بر حسب  $m$



شکل ۳: همبستگی سیگنال دریافتی با مدل کلاه مکزیکی بر حسب پهنای پالس



شکل ۴: همبستگی سیگنال دریافتی با مدل مورلت بر حسب پهنای پالس