

تبدیل ارتقاء یافته هیلبرت-هوآنگ و کاربرد آن در شناسایی سیستم‌های سازه‌ای

سهیل رمضانی^۱، امید بهار^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

۲- استادیار پژوهشگاه سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

s.ramezani@iiees.ac.ir, omidbahar@iiees.ac.ir

خلاصه

تبدیل هیلبرت-هوآنگ به طور ویژه برای پردازش سیگنال‌های نامانا و غیرخطی توسعه داده شده است که شامل دو بخش تجزیه تجربی مودی و تحلیل طیفی هیلبرت می‌باشد. هدف تجزیه تجربی مودی تجزیه سیگنال به تعداد متناهی از توابع مودی ذاتی است به گونه‌ای که شرط لازم برای اعمال تحلیل طیفی هیلبرت فراهم شود. هدف از تحلیل طیفی هیلبرت به دست آوردن توزیع دامنه-زمان-فرکانس هر یک از توابع مودی ذاتی از طریق تبدیل هیلبرت و ارائه طیف هیلبرت سیگنال است. برای اعمال تحلیل طیفی هیلبرت شروط دیگری نیز وجود دارد که توابع مودی ذاتی لزوماً آنها را برآورده نمی‌سازند. این مساله صحت فرکانس‌های آنی به دست آمده را خدشه‌دار می‌کند. در این مقاله برای ارتقاء عملکرد تبدیل کلاسیک هیلبرت-هوآنگ، بخش تحلیل طیفی هیلبرت با روشی دو مرحله‌ای جایگزین می‌شود. در مرحله اول تصحیحی بر روی موج حامل هر یک از توابع مودی ذاتی انجام می‌شود تا هر کدام آن‌ها در $[-1, 1]$ محدود شود. با اعمال تابع وارون کسینوس به موج‌های حامل اصلاح‌شده، مقادیر تابع فاز هر یک از توابع مودی ذاتی محاسبه می‌شوند. در مرحله دوم نوعی منحنی پیوسته و هموارکننده به مقادیر فاز هر یک از توابع مودی ذاتی منطبق می‌شود و با مشتق‌گیری از آن، فرکانس آنی هر یک از توابع به دست می‌آید. در انتها شتاب‌نگاشت‌های مربوط به آزمایش ارتعاش محیطی انجام‌شده بر روی یک پل (پل بی‌چوآن واقع در چین) به وسیله تبدیل‌های کلاسیک و ارتقاء یافته هیلبرت-هوآنگ مورد تحلیل قرار می‌گیرند. نتایج نشانگر این است که برخلاف روش کلاسیک، روش ارتقاء یافته قادر به استخراج فرکانس‌های طبیعی پل با وضوح بالا و دقتی رضایت‌بخش است.

کلمات کلیدی: تبدیل هیلبرت-هوآنگ، تابع مودی ذاتی، فرکانس آنی، شناسایی سیستم

۱. مقدمه

سیگنال‌ها در طبیعت از فرآیندهای گوناگونی ایجاد می‌شوند که حاوی اطلاعات فیزیکی مهمی از فرآیندهای ایجادکننده خود هستند. استخراج خصوصیات فیزیکی سیستم‌ها به وسیله مطالعه سیگنال‌های آن‌ها موضوع علم پردازش سیگنال است. بسیاری از سیگنال‌ها حاصل فرآیندهای غیرخطی می‌باشند که در عین حال ماهیت نامانا یا گذرا نیز دارند. تاکنون برای پردازش سیگنال‌ها روش‌های زیادی مانند تحلیل طیفی فوری، تبدیل فوری زمان کوتاه، طیف‌نما، طیف تکاملی، توزیع ویگنر-ویل و تبدیل موجک معرفی شده‌اند، اما نقص در عملکرد آن‌ها در برابر سیگنال‌های نامانا و غیرخطی به اثبات رسیده است [1]. تبدیل هیلبرت-هوآنگ توسط هوآنگ و دیگران [2] برای پردازش سیگنال‌های نامانای غیرخطی توسعه داده شده که دامنه کاربرد آن به عنوان یک ابزار قدرتمند در علوم مختلف رو به افزایش است. تاکنون در مهندسی زلزله از تبدیل هیلبرت-هوآنگ در پردازش سیگنال‌هایی مانند جنبش قوی زمین، پاسخ ارتعاشی سازه‌ها، بارهای ضربه‌ای، همچنین شناسایی خواص و شناسایی آسیب در سازه‌ها استفاده شده است. این کاربردها توانمندی تبدیل هیلبرت-هوآنگ در استخراج دقیق‌تر خصیصه‌های نامانا و غیرخطی سیگنال‌ها را نسبت به روش‌های سنتی پردازش نشان می‌دهند [3, 4]. تبدیل هیلبرت-هوآنگ از دو بخش تجزیه تجربی مودی و تحلیل طیفی هیلبرت تشکیل شده است. برای ارتقاء عملکرد تبدیل هیلبرت-هوآنگ تاکنون تحقیقات زیادی صورت پذیرفته، اما بیشتر تمرکز این تحقیقات بر روی قسمت تجزیه تجربی مودی بوده و نسبتاً بر روی قسمت تحلیل طیفی هیلبرت کار زیادی انجام نشده است و در بیشتر کاربردها ملزومات مرتبط با این قسمت نادیده گرفته می‌شود [5]. هدف تجزیه تجربی مودی تجزیه سیگنال به تعداد متناهی از توابع مودی ذاتی است به گونه‌ای که هر یک از این توابع دارای تبدیل هیلبرت خوش‌رفتار باشند [2]، و هدف از تحلیل طیفی هیلبرت به دست آوردن دامنه آنی (پوش) و فرکانس آنی هر یک از توابع مودی ذاتی به وسیله تبدیل هیلبرت و در نهایت به دست آوردن توزیع دامنه-زمان-فرکانس برای سیگنال است. در مورد قسمت تحلیل طیفی هیلبرت این نکته بسیار حائز اهمیت است که برای به دست آمدن فرکانس