unesco
Category 2 Centre under the auspices of UNESCO
RCECWA
Regional Education and Research Center on Earthquake Risk Management and Resilience for West and Central Asia
International Institute of Earthquake Engineering and Seismology

Time Delay Effect on Seismic Performance of Active Structural Control Systems

Omid Bahar
Associate Professor, Structural Engineering Research Center
omidbahar@iiees.ac.ir

Behrooz Rajabi

A successful design of a structure is a design that in addition to providing safety and stability of the structure, guarantees the expected performance of the structure and its important equipment and protects them from all kinds of possible damages may cause during seismic excitations. Hence, we need a smart system built in any structure to be activated during any extra loading when structural responses pass the safe limits. Structural control can do this.

Today, due to technological advances in new instruments, and also the development of regulations and guidelines for employing passive control systems such as isolators and dampers, it has become a common tool in buildings and bridges. But the introduction of intelligent systems in human life and the expansion of its influence in all aspects of our life, continuous to lead some ingenuous engineers to apply more and more intelligent active systems in structures. These systems have proven their value in many industries, including the automotive and aircraft industries, over the years. But because of the kind of expectations that exist in the construction industry (such as: always stand by over the years, the need for high energy consumption at the time of operation when all conventional systems go out of circuit, moving or accelerating much heavy floors, delays in responding to the instantaneous needs of structures during unexpected events), until the general application of these systems, many challenges must be addressed.

One of the most basic limitations for active structure control systems is the existence of time delays in its performance, which includes measuring structural responses, processing the measured data and calculating the control forces to be applied to the structure, sending commands to actuators, and finally the time required for the actuators to respond and apply control forces to the structure. Existence of time delay can greatly decrease high performance of the active control system, and also may cause structural instability.

Many researchers have tried to identify the source of time delays and use special computational processes to overcome that part related to the software processing. In this study, exposure to time delays is examined in two stages. Initially, for a typical structure equipped with an active control system, the sensitivity to time delays is evaluated, recognizing when the performance of the control system is poor and when an instability may occur. This is the limit of time delay and named *the critical time delay*. In the next step, the sensitivity of *the critical time delay* with

تأثیر تأخیر زمانی بر عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های کنترل فعال سازه‌ای

امید بهار
دانشیار پژوهشکده مهندسی سازه omidbahar@iiees.ac.ir

بهروز رجبی

از دیدگاه علم مهندسی زلزله، طرح موفق یک سازه، طرحی است که علاوه بر تأمین ایمنی و پایداری سازه، عملکرد قابل انتظار از سازه و تجهیزات مهم درون آن را تضمین نموده و از آنها در برابر انواع آسیبهای احتمالی ناشی از تحریکات لرزه‌ای حفاظت نماید. برآوردن این نیاز توسط دانش کنترل سازه‌ها امکان‌پذیر است. امروزه به دلیل پیشرفتهای تکنولوژی در تولید و بکارگیری تجهیزات نوین و تدوین آیین‌نامه‌ها و راهنماهای مبانی کاربردی برای این تجهیزات در سازه‌ها و در دسترس قرارگرفتن آنها، استفاده از سیستم‌های کنترل غیرفعال مانند انواع جداسازها و میراگرها در سازه‌های ساختمانی و پلها به امری متداول تبدیل شده است. اما ورود سیستم‌های هوشمند در زندگی بشر و گسترش دامنه نفوذ آن در تمامی زوایای زندگی، همچنان عده‌ای از مهندسین را به سمت کاربردی کردن هرچه بیشتر سیستم‌های هوشمند کنترل فعال سازه‌ها سوق می‌دهد. این سیستم‌ها، سال‌ها است که جایگاه و ارزشمندی خود را در بسیاری از صنایع از جمله صنعت اتومبیل و هواپیما اثبات نموده است. اما به دلیل نوع انتظاراتی که از آنها در صنعت ساختمان وجود دارد و محدودیت‌های ذاتی آنها (مانند: همواره آماده پاسخگویی طی سال‌ها، نیاز به انرژی مصرفی بالا در زمان عملکرد درست هنگامی که تمامی سیستم‌های متعارف از مدار خارج می‌شوند، ایجاد حرکت یا افزایش سرعت در بخش‌هایی از سازه‌های بسیار وزین، تأخیر در پاسخگویی به نیازهای لحظه‌ای سازه‌ها در هنگام رویدادهای بیش از حد انتظار)، تا کاربرد عمومی شدن این سیستم‌ها چالش‌های بسیاری را باید برطرف نمود.

یکی از اساسی‌ترین محدودیت‌ها برای سیستم‌های کنترل فعال سازه‌ای، وجود تأخیرهای زمانی در روند فعالیت آن است. این تأخیرهای زمانی شامل موارد ذیل است، از جمله: برداشت اطلاعات سازه، پردازش داده‌های برداشت شده و محاسبه مقدار نیروی کنترل اعمالی به سازه، ارسال دستور انجام عملیات، و بالاخره زمان لازم برای پاسخ بازوی عملگر و اعمال نیروی کنترل به سازه. تأخیرهای زمانی می‌توانند در عملکرد کنترل فعال سازه‌ای اختلال ایجاد نموده باعث کاهش سطح عملکرد سازه و افزایش پاسخ‌های آن گردند. در مواردی که افزایش تأخیر زمانی به صورت تعلل در اعمال نیروی کنترل به سازه باشد می‌تواند ناپایداری سازه را به دنبال داشته باشد. محققین بسیاری تلاش نموده‌اند تا منشاء این تأخیرهای زمانی را شناسایی نموده و با بهره‌گیری از روندهای خاص محاسباتی بخشی از آن که به پردازشهای نرم‌افزاری مربوط می‌شود را برطرف نمایند. بخشی از تأخیرهای زمانی هم که به فرآیندهای الکترونیکی و مکانیکی مربوط می‌گردد با پیشرفت‌های تکنولوژی به مرور زمان برطرف خواهد شد. در این پژوهش، مواجهه با تأخیرهای زمانی در دو مرحله بررسی می گردد. در ابتدا، برای یک سازه متعارف مجهز به سیستم کنترل فعال حساسیت به تأخیرهای زمانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و حد

بحرانی تأخیر زمانی که عملکرد سیستم کنترل را تضعیف نموده و می‌تواند باعث ناپایداری در سازه شود، برآورد می‌گردد. در ادامه، حساسیت این مقدار حدی نسبت به مشخصه‌های سازه و بارهای تحریک مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله دوم، برای رفع این مشکل، با افزایش میرایی سعی در کاهش حساسیت سیستم می‌شود. با بررسی تحلیل‌های انجام شده و نتایج بدست آمده می‌توان اظهار نمود: افزایش میرایی سیستم سازه‌ای نه تنها پاسخ‌های سازه را با وجود تأخیرهای زمانی در حلقه کنترل، بسیار کاهش می‌دهد بلکه پایداری آن را به مراتب بهبود بخشیده است. افزایش میرایی سازه باعث گردیده سیستم سازه‌ای بتواند تأخیرهای زمانی بیشتری در سیستم کنترل فعال را تحمل نماید بدون اینکه خللی در کارآیی سیستم کنترل فعال بوجود آید.

واژه‌های کلیدی: ارتعاشات سازه‌ای، کنترل فعال سازه‌ای، تحریکات لرزه‌ای، تاخیر زمانی، ناپایداری سازه، عملکرد لرزه‌ای

respect to the structural characteristics and excitation loads is investigated.

In the second stage, it tries to reduce the sensitivity of the system by increasing the damping in order to solve this problem. Extensive analysis shows that increasing the damping of the structural system despite the presence of time delay in the control loop, not only greatly reduces the responses of the structure, but also greatly improves the structural stability margins. In other words, increasing the damping of the structure has enabled the structural system to withstand subsequent delays in the active control system without disturbing its performance.

Keywords: Structural vibration, Active structural control, Seismic excitations, Time delay, Structural instability, Seismic performance