

ÁP DỤNG THUẬT TOÁN HYBRID THIẾT KẾ TMD CHỐNG ĐỘNG ĐẤT

Đỗ Thị Ngọc Tam⁽¹⁾

⁽¹⁾ Trường Đại học Thủ Dầu Một

Ngày nhận 29/12/2016; Chấp nhận đăng 29/01/2017; Email: tamdtn@tdmu.edu.vn

Tóm tắt

Báo cáo này nghiên cứu khả năng ứng dụng thuật toán Hybrid vào thiết kế TMD cho nhà cao tầng chống tác nhân động đất. Dựa vào đặc điểm phổ năng lượng động đất thường có dạng dải hẹp, bài báo đã đề xuất cách tính toán để lựa chọn các thông số cơ học ban đầu TMD hợp lý gần với nghiệm tối ưu của bài toán. Các ví dụ số trong báo cáo được tính toán, phân tích bằng ngôn ngữ lập trình Matlab và kết quả tính toán cho thấy tham số TMD thiết kế theo thuật toán này cho khả năng giảm chấn cho nhà lớn (>30%).

Từ khóa: TMD, động đất, thuật toán Hybrid

Abstract

APPLICATION OF HYBRID ALGORITHM TO DESIGN OF TMD UNDER SEISMIC EXCITATIONS

This work aims to study the application of Hybrid algorithm to the design of Tuned Mass Damper (TMD) for highrise buildings subjected to seismic excitations. Base on seismic spectrum which is generally narrow, the author proposes an algorithm to choose reasonable first parameters of TMD, which are close to the optimal solution. Numerical examples presented in this work are calculated using Matlab programming language. The results show that TMD parameters calculated with the proposed method effectively give rise to high damping capacity of buildings, which is greater than 30%.

1. Giới thiệu

Thiết kế kháng chấn đã và đang rất được nhiều người quan tâm đối với các công trình cao tầng. Trong suốt thế kỷ qua, nhiều thiết bị kháng chấn được nghiên cứu và sử dụng như hệ điều chỉnh khối lượng (TMD), hệ đàn nhót, hệ chất lỏng, hệ ma sát, hệ con lắc [1]. Hệ điều chỉnh khối lượng (TMD) với nhiều ưu điểm như giá thành rẻ, ít tổn chi phí bảo trì, dễ lắp đặt, ứng dụng được cho hầu hết các loại công trình và có thể bảo vệ công trình tốt khi có động đất xảy ra.

Trong những năm gần đây, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu tối ưu những tham số thiết kế tối ưu TMD và đạt được kết quả đáng kể trong lĩnh vực này như Sadek [2], Joshi và Jangid [3], hadi và Ariadi [4], Chen và Wu [5]. Những nghiên cứu này thực hiện trên kết cấu hệ một bậc tự do và nhiều bậc tự do dưới tác nhân động đất, với nhiều thuật toán khác nhau. Ở đây tác giả muốn sử dụng thuật toán Hybrid giải quyết bài toán trên và so sánh kết quả với các nghiên cứu trước, và xem khả năng ứng dụng của thuật toán. Mục đích của báo cáo là sử dụng thuật toán Hybrid để giải lập tìm thông số TMD sao cho phản ứng kết cấu trước tác nhân động đất là nhỏ nhất.

2. Mô hình bài toán

Mô hình bài toán là một khung ngang bê tông cốt thép có n tầng, có m nhịp, liên kết với TMD khối lượng m_d , độ cứng K_d . Khung chịu tác động bởi một trận động đất có gia tốc nền \ddot{u}_g (hình 1). Theo Felix Weber, Glauco Feltrin, and Olaf Huth [6], dạng tổng quát của hệ phương trình vi phân cân bằng động lực học của hệ kết cấu nhiều bậc tự do có TMD nối với ở bậc tự do thứ k:

$$\begin{cases} [M]\{\ddot{q}(t)\} + [C]\{\dot{q}(t)\} + [K]\{q(t)\} - (c_d\dot{u}_r + k_d u_r)\{E_k\} = -[M]\{E\}\{\ddot{u}_g\} + \{P(t)\} \\ m_d\ddot{u}_d + c_d\dot{u}_r + k_d u_r = -m_d\ddot{u}_g \end{cases} \quad (1)$$

Với $[M]\{\ddot{q}(t)\}$, $[C]\{\dot{q}(t)\}$, $[K]\{q(t)\}$ và $\{p(t)\}$ tương ứng là các véctơ lực quán tính, lực cản, lực đàn hồi và véctơ tải trọng tác dụng lên hệ kết cấu tại thời điểm t.

$[M]$, $[C]$ và $[K]$ lần lượt là ma trận khối lượng của hệ kết cấu, ma trận cản phi tuyến của hệ kết cấu và ma trận độ cứng tổng thể của kết cấu.

$\{q(t)\}$, $\{\dot{q}(t)\}$ và $\{\ddot{q}(t)\}$ lần lượt là véctơ chuyển vị tương đối, véctơ vận tốc, và véctơ gia tốc của hệ kết cấu tại thời điểm t.

$\{E\}$: véctơ cột có giá trị mỗi hàng bằng 1.

$\{E_k\}$: véctơ cột có giá trị ở hàng thứ k bằng 1, còn ở những hàng khác bằng 0.

$u_r = q(t) - u_d$, $\dot{u}_r = \dot{q}(t) - \dot{u}_d$ lần lượt là chuyển vị tương đối và vận tốc tương đối của TMD so với nút k của khung.

Hệ phương trình (1) được viết lại như sau:

$$[M_1]\{\ddot{q}_1(t)\} + [C_1]\{\dot{q}_1(t)\} + [K_1]\{q_1(t)\} = -[M_1]\{E_1\}\{\ddot{u}_g\} + \{P_1(t)\} \quad (2)$$

Với $\{E_1\}$ là véctơ cột kích thước $(N+1) \times 1$, có giá trị mỗi hàng bằng 1, $[M_1]$ là ma trận khối lượng tổng thể hệ khung có TMD, $[C_1]$ là ma trận cản tổng thể hệ khung có TMD và $[K_1]$ là ma trận độ cứng tổng thể hệ khung có TMD; được xác định bằng các phương trình sau:

$$[M_1] = \underbrace{\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1N} & 0 \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2N} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{N1} & m_{N2} & \dots & m_{N3} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & m_d \end{bmatrix}}_{(N+1) \times (N+1)} \quad (3)$$

$$[C_1] = \underbrace{\begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1N} & 0 \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2N} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{N1} & c_{N2} & \dots & c_{N3} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{(N+1) \times (N+1)} - c_d \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 1_{(k,k)} & \dots & -1_{(k,N+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & -1_{(N+1,k)} & \dots & 1_{(N+1,N+1)} \end{bmatrix}}_{(N+1) \times (N+1)} \quad (4)$$

$$[\bar{K}_1] = \underbrace{\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1N} & 0 \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2N} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{N3} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{(N+1) \times (N+1)} - k_d \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & 1_{(k,k)} & \dots & -1_{(k,N+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & -1_{(N+1,k)} & \dots & 1_{(N+1,N+1)} \end{bmatrix}}_{(N+1) \times (N+1)} \quad (5)$$

Giải hệ phương trình (2) sẽ thu được hàm dạng, tần số chuyển động của khung. Thuật toán Hybrid dùng để tối ưu tham số TMD, Theo [7] được viết như sau:

$$X = [k_d \quad c_d]$$

Find $J(x) = rms(x_{top} \quad floor(t))$

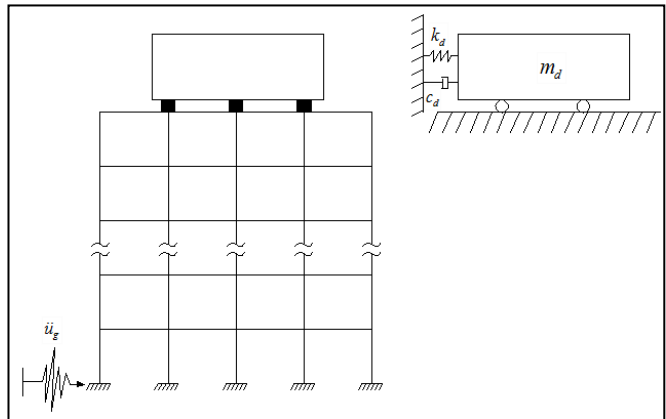
$$\text{Minimize } G1 \equiv k_d^{\min} \leq k_{dj} \leq k_d^{\max} \quad (6)$$

$$\text{Subject to } G2 \equiv c_d^{\min} \leq c_{dj} \leq c_d^{\max}$$

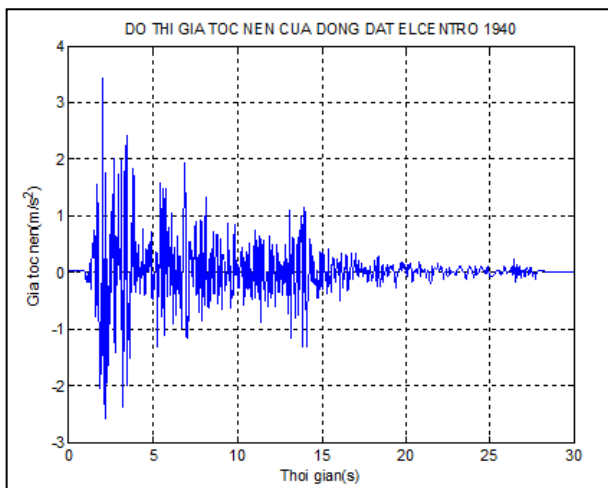
$$G3 \equiv m_d$$

3. Ví dụ

Để đánh giá hiệu quả thuật toán Hybrid trong thiết kế TMD, tác giả thực hiện một số ví dụ mà các nhà nghiên cứu trước đã thực hiện [4, 8, 9]. Khung nhà 10 tầng với tải trọng phân bố đều 360 tấn, độ cứng 650MN/m và độ cản 6.2MN/s/m cho mỗi tầng. Tần số dao động tự nhiên thu được là 1.01, 3.01, 6.76, 8.43, 9.91, 11.7, 12.19, 12.92 và 13.37Hz. Tỷ số cản mode dao động đầu tiên là 3.03%.



Hình 1. Mô hình phân tích dao động



Hình 2. Đồ thị gia tốc nền trận động đất Elcentro 1940

Theo [10, 11] mỗi trận động đất $W(t)$ là một tác nhân không thay đổi, nó có thể mô hình tín hiệu white noise có mật độ phổ hằng số là S_0 . Hàm mật độ phổ như sau:

$$s(\omega) = S_0 \left[\frac{\omega_g^4 + 4\omega_g^2 \xi_g^2 \omega^2}{(\omega^2 - \omega_g^2)^2 + 4\omega_g^2 \xi_g^2 \omega^2} \right], S_0 = \frac{0.03 \xi_g}{\pi \omega_g (4 \xi_g^2 + 1)}, \quad (7)$$

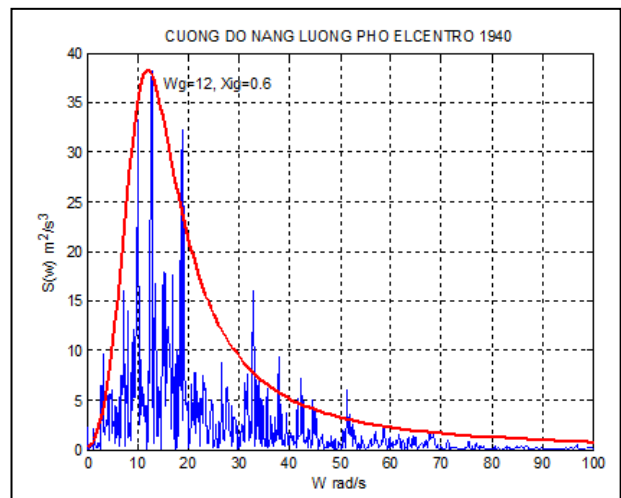
trong đó: ξ_g và ω_g lần lượt là độ cản và tần số của đất nền. Trận động đất Elcentro 1940 có $\xi_g = 0.6$ và $\omega_g = 12$ rad/s (hình 2), và đây là dữ liệu đầu vào của TMD. Trong ví dụ này tác giả sử dụng TMD có khối lượng 108 T, tương ứng 3% khối lượng công trình. Hệ số cản, độ cứng ban đầu TMD tính từ dữ liệu phổ năng lượng động đất, và độ cứng sẽ thay đổi, theo thuật toán Hybrid sẽ xác định những thông số tối ưu của TMD.

Kết quả tính toán được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Chuyển vị tương đối các tầng công trình so với đất nền (m)

| Tầng | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | TMD |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| No TMD | 0.0304 | 0.0595 | 0.0865 | 0.1111 | 0.1327 | 0.1509 | 0.1656 | 0.1766 | 0.184 | 0.1877 | |
| Den Hartog [12] | 0.0187 | 0.0366 | 0.0532 | 0.0682 | 0.0816 | 0.0938 | 0.1043 | 0.1129 | 0.1191 | 0.1224 | 0.3434 |
| Warburton [13] | 0.0186 | 0.0364 | 0.0529 | 0.0678 | 0.0811 | 0.0932 | 0.1037 | 0.1123 | 0.1184 | 0.1215 | 0.3623 |
| Tác giả | 0.0187 | 0.0365 | 0.0531 | 0.0681 | 0.0816 | 0.0938 | 0.1041 | 0.1129 | 0.1191 | 0.1222 | 0.3427 |
| | 38.49% | 38.66% | 38.61% | 38.70% | 38.51% | 37.84% | 37.14% | 36.07% | 35.27% | 34.89% | |

Hình 3. Cường độ năng lượng phổ trận động đất Elcentro 1940



Tác giả thực hiện với công trình tương tự 12 tầng và kết quả tính toán được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Chuyển vị tương đối các tầng công trình so với đất nền (m)

| Tầng | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | TMD |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| No TMD | 0.0315 | 0.0607 | 0.0877 | 0.1124 | 0.1335 | 0.1521 | 0.1668 | 0.1779 | 0.1855 | 0.1889 | 0.1924 | 0.1862 | |
| Den Hartog [12] | 0.0194 | 0.0373 | 0.0539 | 0.0690 | 0.0821 | 0.0946 | 0.1050 | 0.1136 | 0.1200 | 0.1233 | 0.1255 | 0.1215 | 0.3556 |
| | 38.50% | 38.51% | 38.49% | 38.59% | 38.47% | 37.79% | 37.05% | 36.17% | 35.29% | 34.72% | 34.77% | 34.77% | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Warburton | 0.0193 | 0.0372 | 0.0537 | 0.0686 | 0.0816 | 0.0939 | 0.1043 | 0.1130 | 0.1176 | 0.1222 | 0.1246 | 0.1206 | 0.3747 |
| [13] | 38.79% | 38.79% | 38.80% | 38.95% | 38.85% | 38.29% | 37.45% | 36.47% | 36.61% | 35.32% | 35.22% | 35.23% | |
| Tác giả | 0.0194 | 0.0373 | 0.0540 | 0.0691 | 0.0821 | 0.0946 | 0.1048 | 0.1135 | 0.1199 | 0.1233 | 0.1254 | 0.1214 | 0.3568 |
| | 38.51% | 38.50% | 38.42% | 38.56% | 38.49% | 37.81% | 37.15% | 36.19% | 35.35% | 34.74% | 34.80% | 34.80% | |

Từ những ví dụ số bên trên ta có thể áp dụng thuật toán Hybrid để thiết kế những tham số TMD cho công trình chống động đất và hiệu quả giảm chấn mang lại tốt, trên 30%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Soong TT, Dargush GF., *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley & Sons: Chichester, NY, 1997.
- [2] Sadek F, Mohraz B, Taylor AW, Chung RM., *A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1997; 26:617–635.
- [3] Joshi AS, Jangid RS., *Optimum parameters of multiple tuned mass dampers for base-excited damped*, Journal of Sound and Vibration 1997; 202(5):657–667.
- [4] Hadi MNS, Arfiadi Y., *Optimum design of absorber for MDOF structures*, Journal of Structural Engineering, ASCE 1998; 124:1272–1280.
- [5] Chen G, Wu J., *Optimal placement of multiple tune mass dampers for seismic structures*, Journal of Structural Engineering 2001; 127:1054–1062.
- [6] Felix Weber, Glauco Feltrin, and Olaf Huth, *Guidelines for Structural Control*, SAMCO Final Report, 2006.
- [7] Leandro Fleck Fadel Miguel, Rafael Holdorf Lopez, Leticia Fleck Fadel Miguel and Andre Jacomel, *A Novel approach to optimum design of MTMDS under seismic excitations*, 2016
- [8] Lee CL, Chen YT, Chun LL, Wang YP., *Optimal design theories and applications of tuned mass dampers*, Engineering Structures 2006; 28:43–53.
- [9] Mohebbi M, Shakeri K, Ghanbarpour Y, Majzoub H., *Designing optimal multiple tuned mass dampers using genetic algorithms (GAs) for mitigating the seismic response of structures*, Journal of Vibration and Control 2013; 19(4):605–625.
- [10] Kanai K., *An empirical formula for the spectrum of strong earthquake motions*, Bulletin Earthquake Research Institute University of Tokyo 1961; 39:85–95.
- [11] Tajimi H., *A statistical method of determining the maximum response of a building structure during an earthquake*, Proceedings of 2nd World Conference in Earthquake Engineering, Tokyo, Japan, 1960, 781–797.
- [12] Den Hartog JP., *Mechanical Vibration*, McGraw-Hill: New York, 1956.
- [13] Warburton GB., *Optimum absorbers parameters for various combinations of response and excitation*, Earthquake Engineering and Structural Dynamics 1982; 10:381–401.
- [14] Anik K Chopra, *Dynamics of Structure*, Pearson Education, 1995.
- [15] Chu Quốc Thắng, *Phương Pháp Phần Tử Hữu Hạn*, NXB Khoa học Kỹ thuật, 1997.
- [16] Đỗ Kiên Quốc, *Động Lực Học Kết Cấu*, NXB Đại học Quốc gia TP.HCM.
- [17] T.T. Soong, G.F. Dargush, *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*, John Wiley & Sons, 1997.