

ĐIỀU KHIỂN DÙNG MÔ HÌNH NỘI MẠNG NEURON ÁP DỤNG VÀO ROBOT SCARA

Nguyễn Chí Ngôn - Bộ môn Viễn Thông - Tự Động Hóa, Khoa Công Nghệ Thông Tin,
Đại Học Cần Thơ

Dương Hoài Nghĩa - Bộ môn Cơ Sở Kỹ Thuật Điện, Khoa Điện - Điện Tử, Trường Đại
Học Bách Khoa, ĐHQG-HCM

(Bài nhận ngày 4 tháng 10 năm 2001, hoàn chỉnh ngày 03 tháng 1 năm 2002)

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả điều khiển dùng mô hình nội với các mô hình thuận và ngược được nhận dạng bởi mạng neuron. Sơ đồ điều khiển được áp dụng cho một đối tượng đa biến phi tuyến là robot SCARA. Để cải thiện chất lượng của mô hình ngược, quy trình huấn luyện hai bước được áp dụng: huấn luyện tổng quát và huấn luyện chuyên dụng. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều khiển có chất lượng và tính bền vững tốt.

Từ khóa: Điều khiển dùng mô hình nội, Mạng neuron, Nhận dạng mô hình thuận, Nhận dạng mô hình ngược, Hệ thống đa biến

1. GIỚI THIỆU

Sơ đồ điều khiển mô hình nội (Internal Model Control - IMC) được cho ở hình 1 [4,5,6], trong đó:

- Đối tượng điều khiển có các tín hiệu vào điều khiển u , tín hiệu ra y^o và chịu tác động bởi nhiễu d .

- $\tilde{P} = \tilde{P}_A \tilde{P}_M$ là mô hình của đối

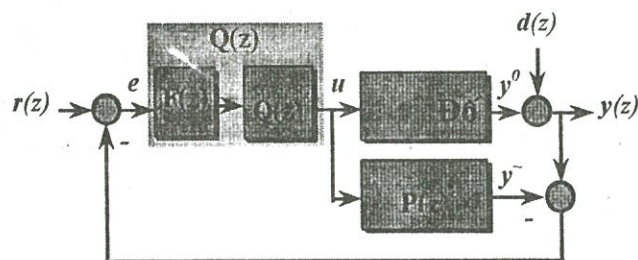
tượng, trong đó \tilde{P}_A và \tilde{P}_M lần lượt là các thành phần không cực tiểu pha và cực tiểu pha của mô hình.

- $\tilde{Q} = \tilde{Q}F$ là bộ điều khiển IMC với $\tilde{Q} = \tilde{P}_M^{-1}$ là bộ điều khiển danh định (nominal controller) và F là bộ lọc thông thấp dùng để tăng độ bền vững của bộ điều khiển đối với sự sai lệch giữa đối tượng và mô hình \tilde{P} .

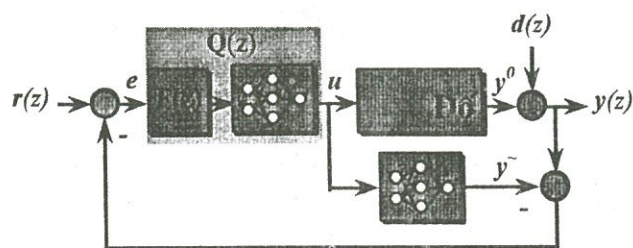
- Mục tiêu điều khiển là làm cho tín hiệu ra $y = y^o + d$ bám theo tín hiệu đặt r .

Để xác định mô hình \tilde{P} ta có thể tiến hành nhận dạng đối tượng từ các dữ liệu vào và ra. Trong trường hợp hệ phi tuyến, ta có thể sử dụng mạng neuron nhân tạo (Artificial Neural Network) để nhận dạng \tilde{P} và \tilde{Q} như hình 2 [1,12].

Việc nhận dạng mô hình ngược



Hình 1 - Điều khiển dùng mô hình nội



Hình 2 - Điều khiển IMC dùng mạng neuron

$$\begin{cases} x = l_1 \cos \theta_1 + l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y = l_1 \sin \theta_1 + l_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{cases} \quad (3)$$

Robot SCARA có các đặc điểm sau:

- Phi tuyến cao.
- Đa trị. Ứng với 1 vị trí (x,y) của đầu mút, tương ứng có thể có nhiều cặp $[\theta_1, \theta_2]^T$, ta phải có sự chọn lựa cặp góc sao cho sự biến thiên của nó từ vị trí thứ $k-1$ sang vị trí thứ k là nhỏ nhất.
- $\min\{|\theta_1(k) - \theta_1(k-1)| + |\theta_2(k) - \theta_2(k-1)|\}$ (4)
- Mô hình tuyến tính hóa không cực tiểu pha.

Đây là 3 đặc điểm gây không ít khó khăn trong việc xây dựng mạng neuron để nhận dạng mô hình ngược của robot (\tilde{Q}).

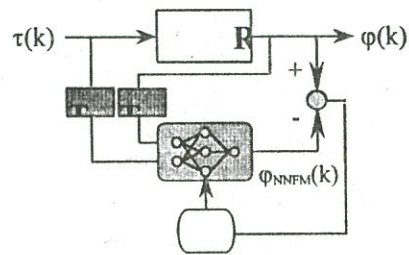
3. NHẬN DẠNG MÔ HÌNH THUẬN CỦA ROBOT SCARA

Đặt $\varphi = [\varphi_1, \varphi_2]^T$ và $\tau = [\tau_1, \tau_2]^T$, từ (1) ta có:
 $\varphi(k) = f(\varphi(k-1), \varphi(k-2), \tau(k-1), \tau(k-2))$ (5)

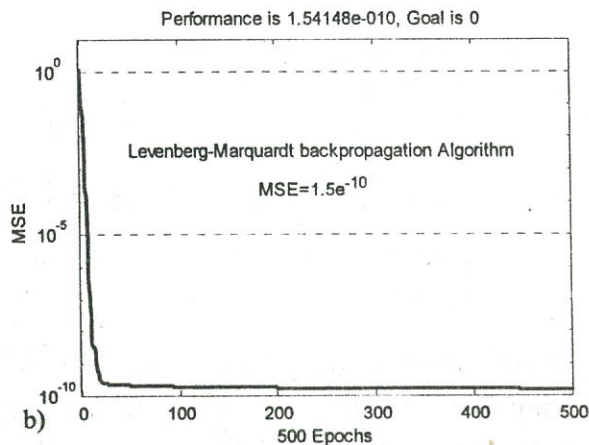
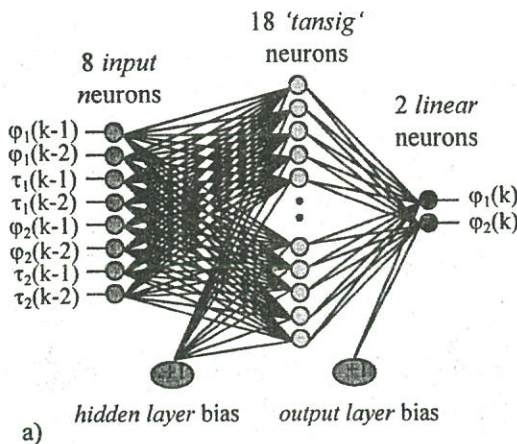
Mô hình thuận mạng neuron (NNFM) của robot SCARA

$$\varphi_{NNFM}(k) = \hat{f}(\varphi(k-1), \varphi(k-2), \tau(k-1), \tau(k-2)) \quad (6)$$

được huấn luyện sao cho $\min\{\|\varphi - \varphi_{NNFM}\|\}$.



Hình 4 - Nguyên tắc nhận dạng mô hình đối tượng



Hình 5 - a) Cấu trúc mạng NNFM b) Lỗi huấn luyện mạng

Mạng neuron sử dụng là mạng truyền thẳng nhiều lớp (Multi-layer feedforward Neural Network), với 8 neuron vào, 18 neuron ẩn phi tuyến có hàm truyền hyperbolic tangent sigmoid và 2 neuron ra tuyến tính, cấu trúc như hình 5a). Hình 5b trình bày kết quả huấn luyện mô hình thuận với 750 mẫu (φ, τ) ngẫu nhiên, bằng phương pháp học có giám sát (supervised learning), với giải thuật truyền ngược Levenberg-Marquardt.

4. NHẬN DẠNG MÔ HÌNH NGƯỢC CỦA ROBOT SCARA

Từ (1) ta có:

$$\tau(k) = f^{-1}(\varphi(k+1), \varphi(k), \varphi(k-1), \tau(k-1)) \quad (7)$$

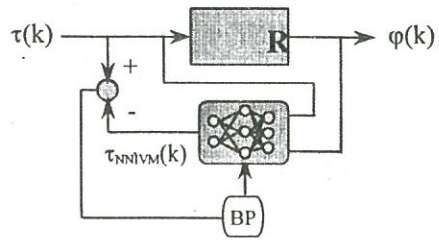
Mô hình ngược của robot SCARA được nhận dạng dùng mạng neuron NNIVM

$$\tau_{NNIVM}(k) = \hat{f}^{-1}(\varphi(k+1), \varphi(k), \varphi(k-1), \tau(k-1)) \quad (8)$$

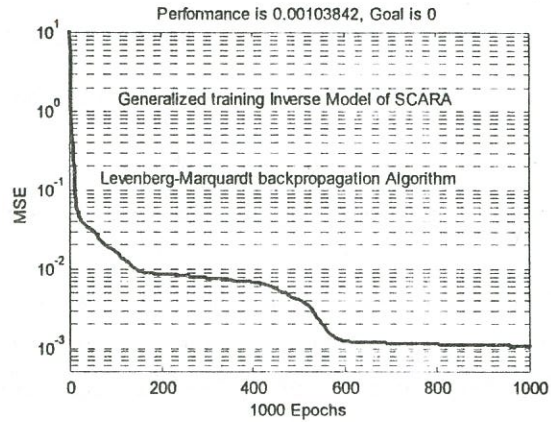
sao cho $\min\{\|\tau - \tau_{NNIVM}\|\}$.

Mạng neuron được chọn lựa để xây dựng NNIVM là mạng truyền thẳng nhiều lớp với 8 neuron vào, 18 neuron ẩn phi tuyến và 2 neuron ra tuyến tính, cấu trúc giống như mạng NNFM. Quá trình huấn luyện mạng NNIVM được chia làm 2 giai đoạn, giai đoạn huấn luyện tổng quát (general training) với tập dữ liệu đã huấn luyện mạng NNFM và giai đoạn huấn luyện chuyên dụng (specialized training).

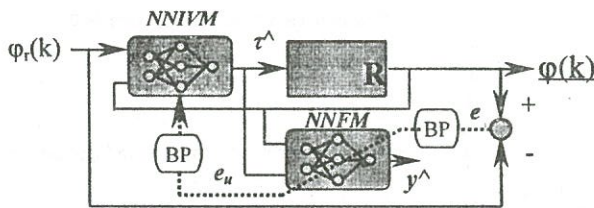
Nguyên tắc huấn luyện tổng quát mạng NNIVM được trình bày trên hình 6. Sau 1000 chu kỳ huấn luyện sai số (Mean Squared Error MSE) đạt 0.001 (hình 7).



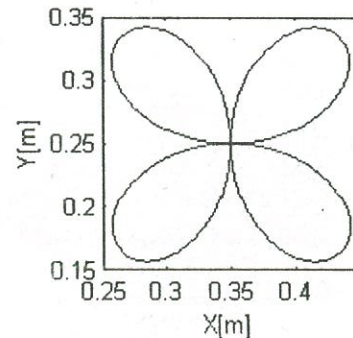
Hình 6 - Huấn luyện tổng quát NNIVM



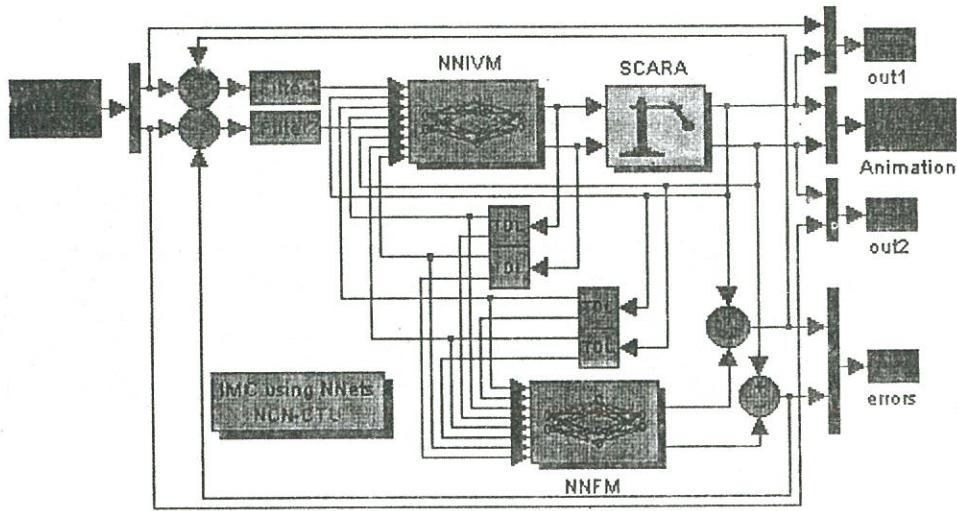
Hình 7 - Lỗi huấn luyện tổng quát NNIVM



Hình 8 a) - Huấn luyện chuyên dụng NNIVM



Kết thúc giai đoạn huấn luyện tổng quát, các trọng số và ngưỡng của mạng NNIVM là giá trị khởi đầu cho nguyên tắc huấn luyện chuyên dụng NNIVM (hình 8a). Ở phương pháp này, ta huấn luyện NNIVM thông qua mạng NNFM (đã được huấn luyện ở phần 3). Mạng NNFM được thêm vào sơ đồ hình 8a) để làm trung gian cho giải thuật truyền ngược sai số. Quá trình huấn luyện ta chỉ điều chỉnh trọng số và ngưỡng của mạng NNIVM sao cho $\min\{\|\varphi - \varphi_r\|\}$. Trong đó φ_r là tín hiệu đặt, được chọn sao cho đầu mút của cánh tay robot di chuyển trên quỹ đạo hình 8b).



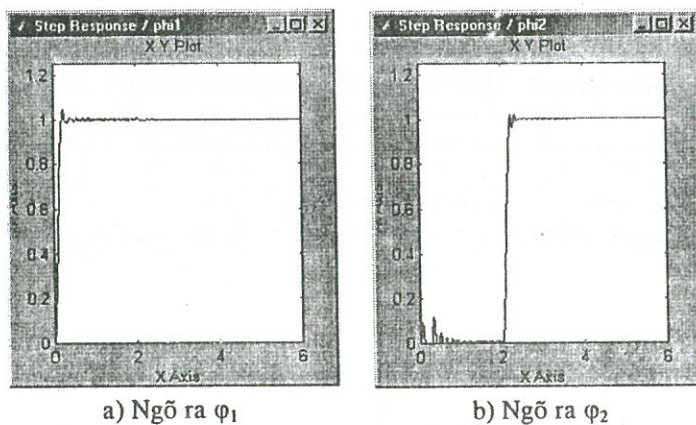
Hình 9 - Điều khiển IMC dùng mạng neuro

Kết thúc quá trình huấn luyện chuyên dụng ta có được mạng NNIVM mong muốn. Kết hợp các khối trên cùng bộ lọc IMC $F(f_1, f_2)$ bằng Simulink toolbox 3.0 của MATLAB^{R11} ta có sơ đồ cấu trúc IMC dùng mạng neuron như hình 9.

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

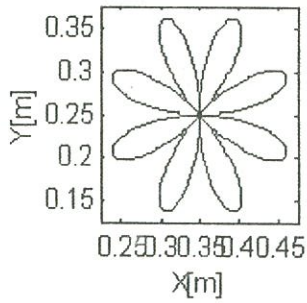
Hệ thống IMC dùng NNs đã xây dựng hoạt động tốt với nhiều tín hiệu đặt khác nhau. Trong quá trình mô phỏng, chương trình cho phép thay đổi thông số của robot (tải m) để khảo sát tính bền vững của hệ thống. Ngoài ra, hệ cũng đáp ứng tốt khi có sự va chạm xảy ra trên một hoặc cả hai cánh tay robot khi nó đang di chuyển trên quỹ đạo đặt trước. Sau đây là vài kết quả tiêu biểu.

- **Đáp ứng bước:** Khi tín hiệu đặt là bước nhảy đơn vị, biên độ 1 rad, đáp ứng của hệ như hình 10.

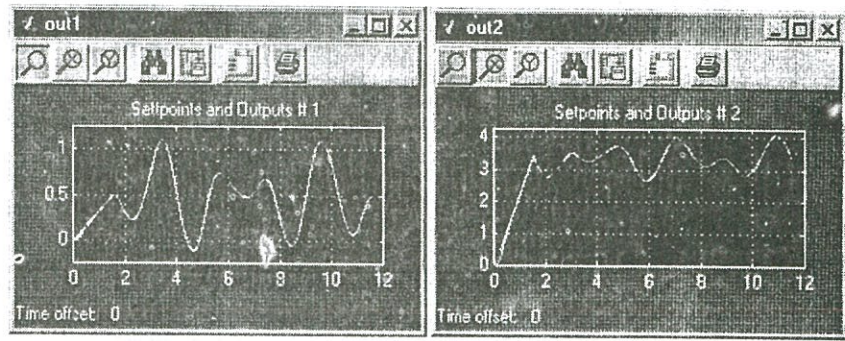


Hình 10 - Đáp ứng bước của hệ thống

- **Đáp ứng với quỹ đạo 1:** Khi quỹ mong muốn của đầu mút của cánh tay như hình 11, kết quả thu được trên hình 12 (khi robot mang tải 10 Kg).

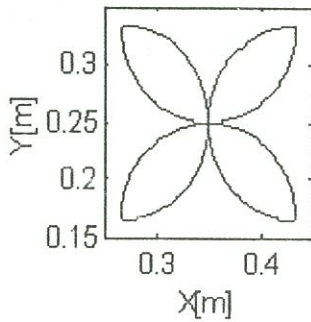


Hình 11 – Quỹ đạo 1

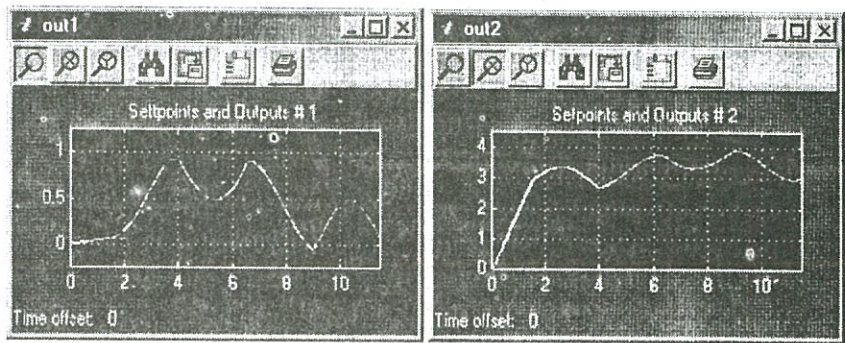


Hình 12 – Kết quả mô phỏng trên quỹ đạo 1, tải 10Kg

- **Đáp ứng với quỹ đạo 2:** Kết quả thu được trên hình 14, khi robot mang tải 40 Kg.

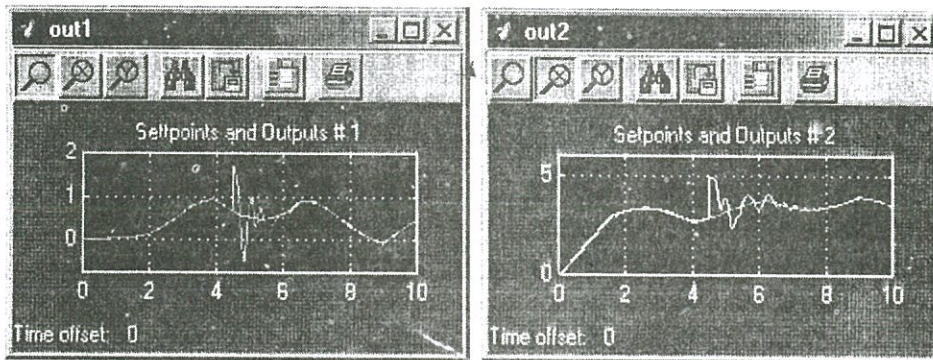


Hình 13 – Quỹ đạo 2



Hình 14 – Kết quả mô phỏng trên quỹ đạo 2

- **Đáp ứng của hệ khi có nhiễu:** Mô phỏng này cho thấy khả năng quay về đúng quỹ đạo mong muốn, khi có va chạm xảy ra trên cả 2 cánh tay robot. Tại thời điểm $t=4.5$, va chạm xảy ra trên cả 2 cánh tay robot làm cho đầu mút của nó lệch khỏi quỹ đạo. Sau khoảng 1.5s, hệ trở về đúng quỹ đạo (hình 15).



Hình 15 – Đáp ứng của hệ thống khi va chạm

6. KẾT LUẬN

Ứng dụng NNs để thiết kế IMC cho các đối tượng chưa biết cấu trúc và thông số tỏ ra đơn giản và hiệu quả, vì các mạng neuron chỉ hoạt động trên các tín hiệu vào/ra của đối tượng. Mô phỏng trên robot SCARA cho thấy hệ hoạt động bền vững trên khoảng biến thiên lớn của tải.

Cùng xây dựng hệ thống điều khiển IMC cho robot SCARA, nhưng kết quả của bài báo này thể hiện rõ ràng mức độ phi tuyến cao của robot và tính bền vững của bộ điều khiển so với kết quả của tài liệu tham khảo [1].

INTERNAL MODEL CONTROL USING NEURAL NETWORKS: APPLICATION TO SCARA ROBOT

Nguyen Chi Ngon, Duong Hoai Nghia

(Received 04 October 2001, Revised 03 January 2002)

ABSTRACT: The paper describes an internal model control scheme, in which both forward model and inverse model are provided by neural networks. The controller is applied to the robot SCARA which is a multi-input multi-output nonlinear system. To improve the quality of the inverse model, a two-step procedure is applied: general training and specialized training. Simulation results show that the control system has good performance and robustness.

Keyword: Internal Model Control, Neural Networks, Forward model identification, Inverse model identification, Multi-input Multi-output system.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.T. Pham & Sahin Yildirim, Design of a Neural Internal Model Control System for a Robot, Volume 18, pp. 505-512, Cambridge University Press, (2000).
- [2] Duc Truong Pham & Liu Xing, Neural networks for Identification, Prediction and Control, Springer-Verlag London Limited, 3rd printing, 1997.
- [3] Eric Ronco & Peter J. Gawthrop, Neural networks for Modelling and Control, Centre for System and Control, Department of Mechanical Engineering, University of Glasgow, Technical report: csc97008, 1997.
- [4] E. Zafiriou & M. Morari, Design of the IMC Filter by Using the Structured Singular Value Approach, College Park, University of Maryland, Technical Research Report TR 87-141, 1987
- [5] E. Zafiriou & M. Morari, Internal Model Control: Robust Digital Controller Synthesis for Multivariable Open-Loop Stable or Unstable Systems, College Park, University of Maryland, Technical Research Report TR 87-146, 1987.
- [6] E. Zafiriou & M. Morari, Internal Model Control: Robust Digital Controller Synthesis for Multivariable Open-Loop Stable or Unstable Processes, College Park, University of Maryland, Technical Research Report TR 90-48, 1990.
- [7] Howard Demuth & Mark Beale, Neural Network Toolbox User's Guide Version 4.0, The MathWorks, Inc., 2000.
- [8] Manfred Morari & Evangelos Zafiriou, Robust Process Control, Prentice Hall, 1991.
- [9] Marilyn McCord Nelson & W.T. Illingworth, A Practical Guide to Neural Nets, Addison-Wesley Publishing Company, 1991.
- [10] Nguyễn Hoàng Phương, Bùi Công Cường, Nguyễn Doãn Phước, Phan Xuân Minh & Chu Văn Hỷ, Hệ mờ và Ứng dụng, phần 4: Mạng Nơron, Hệ thống Nơron mờ và ứng dụng (pp. 311-414), Nxb Khoa học Kỹ thuật, 1998.
- [11] Omid Omidvar & David L. Elliott, Neural Systems for Control, Academic Press, 1997.
- [12] Zi Ma, Vladimir B. Bajic & Daniel W.C. Ho, Neural Network based Adaptive Internal Model Control for nonlinear Plants, Centre for Engineering Research, South Africa, 1998.