المجلة العراقية للعلوم الاحصائية (13) 2008
ص ص [104-112]

توظيف نماذج فضاء الحالة و أسلوب المكونات الرئيسية في تقدير زمن التأخير

هيام عبد المجيد حياوي*

المستخلص :

يتناول هذا البحث توظيف نماذج فضاء الحالة و أسـلوب تحليـل المكونـات الرئيسية Principle Components Analysis لتقدير زمـن التـأخير Delay Time في النظم الديناميكية الخطية،وذلك لأهميـة زمـن التـأخير فـي وصـف التشخيص المناسب للنظام، اذ تمت مقارنة نتائج تقدير زمـن التـأخير باسـتخدام البيانات الأصلية بالنتائج التي تم الحصول عليها بالأسلوب المقترح لنماذج فضـاء الحالة من خلال تجارب المحاكاة ولأحجام مختلفة من العينات .لقد تبين أن أسلوب المكونات الرئيسية قدم إمكانية عالية للنجاح في تقدير زمن التأخير مع نماذج فضاء الحالة وذلك لعدم توافر أية حالة فشل مقارنة بالتعامل مع البيانات الأصلية.

State Space Models Employment and Principle Components Approach to Estimate the Delay Time

ABSTRACT

This research deals with a state space models and principle components analysis approach to estimate the delay time in linear stochastic dynamical systems. The delay time has a statistical importance to describe the suitable identification. The results are compared with the proposed approach from the simulation experiments where the Principle Component approach gives a high degree of success to estimate the delay time with state space where there isn't any failure state compared with original data.

---

* مدرس/كلية علوم الحاسبات والرياضيات / قسم الإحصاء والمعلوماتية
Heyam971@yahoo.com
تاريخ التسلم : 2007/4/4 ـــــــــــــــــــــــــتاريخ القبول : 2007/5/23

1.مقدمة :- Introduction

إن مخرجات النظام الديناميكي تعتمد فضلاً عن إشارة الإدخال على التـاريخ السابق للإخراج وكم نحتاج من التاريخ السابق لكي نجد الإخراج عند أيـة لحظـة وان ذلك الجزء من التاريخ للنظام الذي يؤثر في السلوك الحالي والمستقبلي يعرف على انه حالة النظام وان المتغيرات التي قيمها تمثل حالة النظام تسمى متغيـرات الحالة State Variable (Jong,1982)، بذلك فان نموذج فضاء الحالـة يزودنـا بوصف رياضي للخصائص الداخلية والخارجية للنظام ،كما يسمح بدمج المتغيرات التي ترتبط مع السلوك الداخلي للنظم التي لا يمكن الوصول إليها أو قياسـها مـع المتغيرات الخارجية القابلة للقياس، وتعد أيضـا صـيغة عامـة لتمثيـل النمـاذج الديناميكية الخطية وغير الخطية سواء أكانت تتغير مع الـزمنTime Variant أم لا تتغير مع الزمن Time Invariant (Ljung,1999) .

إن تقدير زمن التأخير يعتبر متطلبا أساسياً يجب تقديره قبل البـدء بتحديـد النموذج المناسب الذي يمثل النظام أو العملية وخاصة في العمليات الصناعية حيث يكون زمن التأخير ذا تأثير مباشر في عملية تحديد النموذج الذي يصـف النظـام بصورة دقيقة ويوضح آلية عمل النظام،إن الظاهرة التي تواجهنا في النظم الحركية هي زمن التأخير أو الزمن الميت Dead Time بـين فعلـين مـرتبطين، اذ أن العامل الأكثر أهمية في أداء النظام هو التأخير بـين المسـبب Cause والمتمثـل بالمدخلات والتأثيرEffect والمتمثل بالمخرجات والذي يعود إلى طبيعة القصـور الذاتي في النظام.(البدراني ،2002)

2.هدف البحث Objective of the research

يهدف البحث إلى توظيف أسلوب تحليـل المكونـات الرئيسـية Principle Components Analysis في تقدير زمن التأخير للأنظمة الحركية التصـادفية الخطية من خلال التعامل مع نماذج فضاء الحالة كأسلوب مقترح ومقارنة النتـائج

المستحصلة للبيانات الأصلية مع نتائج المكونات الرئيسية بالاعتماد على تجـارب المحاكاة.

3.أساليب تقدير زمن التأخير:- Delay Time Estimation Methods

هناك العديد من الأساليب الإحصائية والهندسية لتقدير زمن التأخير في النظم الحركية الخطية التصادفية التي أشار إليها واستخدمها العديد من الباحثين ومن هذه الأساليب دالة الارتباط المستعرض Crosscorrelation Function بين سلسـلتي الإدخال والإخراج التي أشار إليها (Box and Jenkins ,1970) واستخدام دالـة الاستجابة النبضية التي أشـار إليهـا (Makridakis et al.,1983) واسـتخدم Thanoon & Ibrahim (1993) أسلوباً جديداً يتم من خلاله تقدير زمن التأخير وهو أسلوب دليلَ خّطي مزدوج لدالة الانحدار للسلاسل الزمنية المزدوجة وتعريف هذا الأسلوب من خلال دالة الارتباط المضاعف انه إحصائيةً كمؤشّرٍ لقّوة العلاقـة ومن ثم اختبار هذه الإحصائية على نُظُم السيطرة العشوائية ليتم من خلالها الكَشْفِ وتقدير زمن التأخير في النُظُم الحركية الخطيةِ وغير الخّطيةِ ،في حـين اسـتخدم (Ljung ,1995) نماذج الانحدار الذاتي مع مدخلات إضافية ARX مـن الرتبـة الثانية في عملية تقدير زمن التأخير ،كذلك اسـتخدم (البـدراني ،2002) أسـلوب نماذج فضاء الحالة State Space في تقدير زمن التأخير من خلال ملاءمة العديد من نماذج فضاء الحالة برتب متصاعدة ابتدء من الرتبة الأولى وحتى رتبة معينة وملاحظة خصائص نموذج فضاء الحالة الملائم من خلال دالة الاستجابة النبضـية بوصفها مؤشراً لاستقرارية النموذج،وقد أشار (Pollard,1981) إلى وجود علاقة بين الاستقرارية وزمن التأخير ويمكن انتقاء أول رتبة يصل فيها النموذج إلى حالة الاستقرارية أي يستقر فيها شكل دالة الاستجابة النبضية مع الرتب التالية لها فتعتبر تلك الرتبة هي المقدر لزمن التأخير وفي هذا البحث تم الاعتمـاد علـى اسـلوب المكونات الرئيسية مع نماذج فضاء الحالة في تقدير زمـن التـأخير فـي الـنظم الديناميكية الحركية الخطية التصادفية.

4. نماذج فضاء الحالة :- State-Space Models

إن نظم السيطرة الديناميكية Dynamic Control تتصف بعدم إمكانية تحليل تركيبها وتحسين مستوى أدائها وذلك لعدم التعرف على الديناميكية الداخلية والخارجية للنظم، اذ إن تحديد المتغيرات الداخلية لنظم السيطرة وإمكانية التحكم بها وملاحظتها تجعل من الممكن الوصول إلى تطوير المفاهيم التي تعمل عليها ومن ثم الحصول على نظم سيطرة مثلى.

إن نماذج فضاء الحالة تتميز من نظم السيطرة الديناميكية بأنها توفر إمكانية التعرف على الديناميكية الداخلية والخارجية للنظام وهي ميزة أساسية في وصف نظام السيطرة، اذ يمكن القول بان تمثيل فضاء الحالة هو أسلوب رياضي يستخدم مع النظم الديناميكية الاعتيادية والمعقدة،حيث تبرز أهمية أسلوب فضاء الحالة عند وجود نظم بمدخلات ومخرجات متعددة ،كما تتميز بكونها في موازاة المتغيرات المعروفة أو التي يمكن قياسها،إذ أن المتغيرات داخل العملية لا يمكن قياسها وهذا هو السبب في تسمية نموذج فضاء الحالة بالنموذج الداخلي، وللتفاصيل انظر (البدراني،2002).

يتكون نموذج فضاء الحالة عادةً من معادلتين تصف الأولى متجه المدخلات عند الزمن $(t+1)$ ويرمز له X_{t+1} بدلالة X_t وكذلك المدخلات U_t وتسمى هذه المعادلة بمعادلة الحالةState Equation في حين تصف الثانية المخرجات Y_t بدلالة كل من المدخلات X_t والمدخلات U_t وتسمى هذه المعادلة بمعادلة المشاهدة Observation Equation ويمكن توضيح هاتين المعادلتين في حالة وجود مدخل ومخرج واحد(SISO (Single Input Single Output كالآتي:-

$$X_{t+1} = AX_t + BU_t \quad \dots (1a)$$

$$Y_t = CX_t + DU_t \quad \dots (1b)$$

إذ أن:- A : تمثل الديناميكية المستقلة للنظام ببعد (n*n).

B : يمثل تأثير أفعال السيطرة ببعد (n*n).

C : يمثل الإسقاط على المتغيرات المشاهدة ببعد (n*1).

D : يمثل قيمة حقيقية.

وتؤدي هاتان المعادلتان دوراً مهماً في دراسة النظم الديناميكية حيث يعبر عن المدخلات والمخرجات من خلال معادلة فرقية عند وجود نظام محدد في الزمن المتقطع وتكون هناك عادةً اضطرابات غير مسيطر عليها تعامل كمتغيرات عشوائية أو تشويش يؤثر في المخرجات (Nelles,2001).

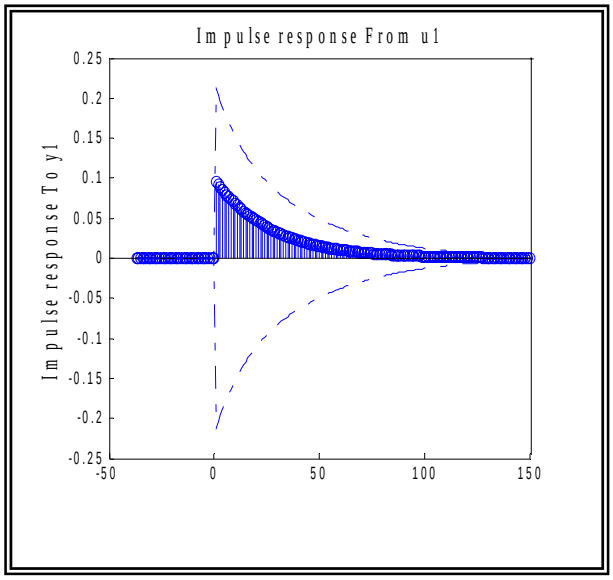
5. تجارب المحاكاة:- Simulation Experiments

لقد أجريت تجارب المحاكاة باستخدام نظام MATLAB لنموذج خطي Linear Model من خلال توليد عينات بأحجام مختلفة وهي ($n=100,n=250,n=500,n=1000$) وبتكرارات عديدة لكل حجم للنموذج الخطي وكانت مدخلات النموذج(u_t)عبارة عن إشارات عشوائية مولدة من التوزيع الطبيعي القياسي (*Random Gaussian signals "rgs"*) وباستخدام المولد (*randn*) أما التشويش فقد تم توليده أيضا باستخدام المولد (*randn*) لتوليد إشارات عشوائية تتبع التوزيع الطبيعي($\varepsilon_t \sim N(0,5)$) وقد استخدم النموذج الخطي التالي وبزمن تأخير($d=3$):-

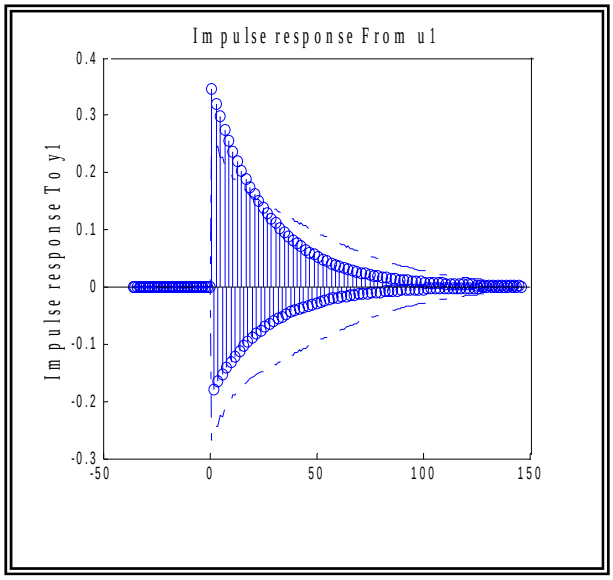
$$y_t = 0.8*u(t-d) - 0.6*u(t-d-1) + 0.4*u(t-d-2) + \varepsilon_t \quad ...(1)$$

وبتطبيق أسلوب الاستجابة النبضية لتقدير زمن التأخير على البيانات الأصلية وعلى بيانات الإدخال-الإخراج بعد إيجاد المكونات الرئيسية للبيانات (الإدخال-الإخراج) حيث يتم فيها تحويل المتغيرات الأصلية إلى متغيرات غير مرتبطة تسمى المتغيرات الجديدة بالمكونات الرئيسية وكل مكون فيها هو توفيق خطي Linear Combination من المتغيرات الأصلية باستخدام نظام MATLAB وقد بينت نتائج عملية المحاكاة عند استخدام نماذج فضاء الحالة النجاح التام لهذه النماذج في تقدير زمن التأخير ويلاحظ ذلك من خلال دالة الاستجابة النبضية الناجمة من ملاءمة نماذج فضاء الحالة من الرتب (1,2,3,4) للمشاهدات المولدة عند الحجم $n=1000$ ومن خلال احد التكرارات بشكل عشوائي كما في الشكل (2)، حيث أنها تأخذ وضعها المستقر عندما يكون النموذج من الرتبة الثالثة فما فوق وأيضا فان دالة الاستجابة النبضية تبلغ ذروتها عند التخلف lag=3 وتمثل أول استجابة معنوية وهو ما يمثل زمن التأخير،

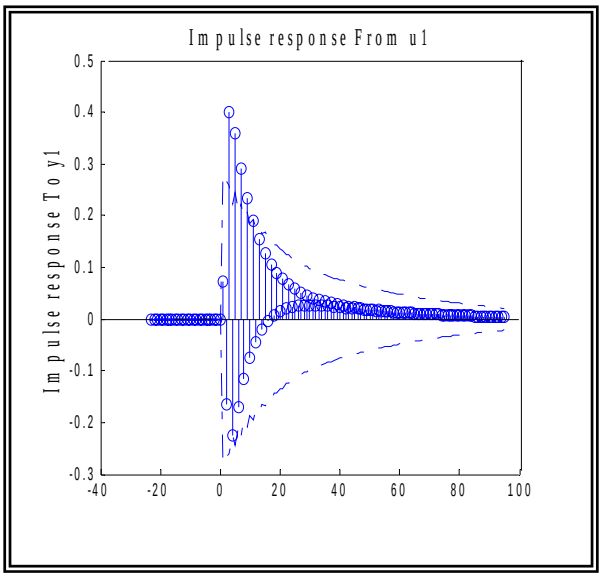
والشكل (1) يوضح دالة استقرارية دالة الاستجابة النبضـية للنمـوذج للبيانـات الأصلية حيث نلاحظ وجود حالة فشل في تقدير زمن التأخير عند التكرار الثاني اذ كان زمن التأخير (1).



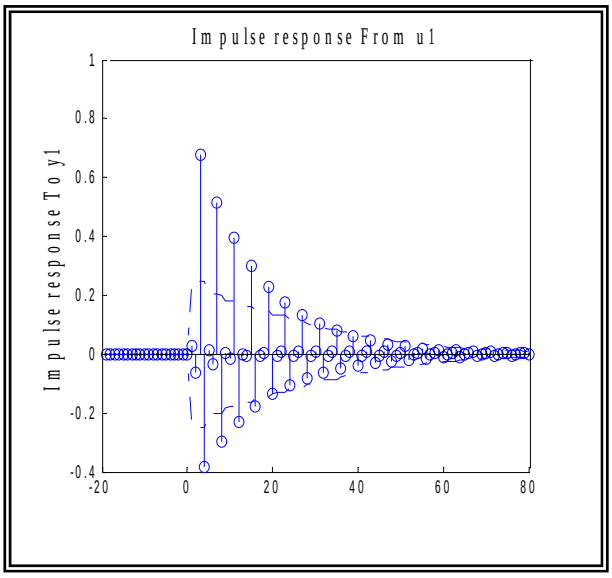
النموذج الاول



النموذج الثاني

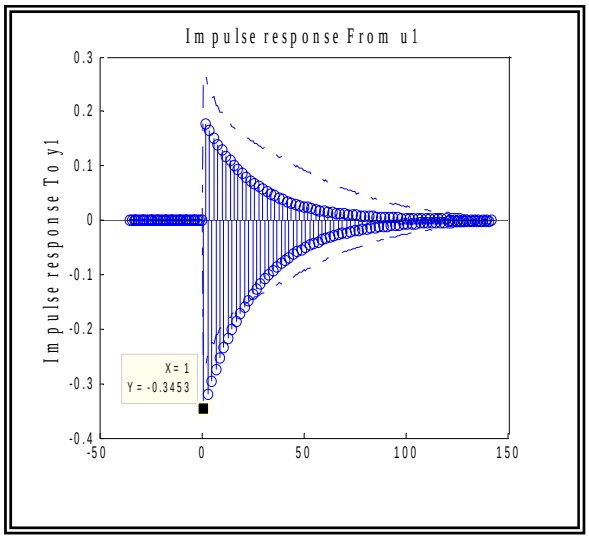


النموذج الثالث

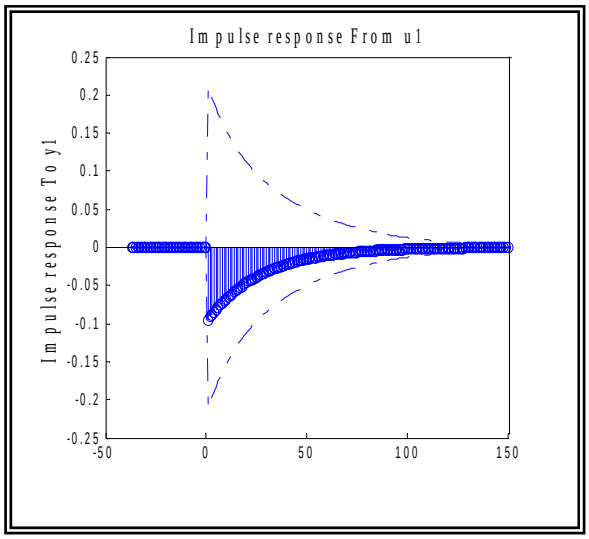


النموذج الرابع

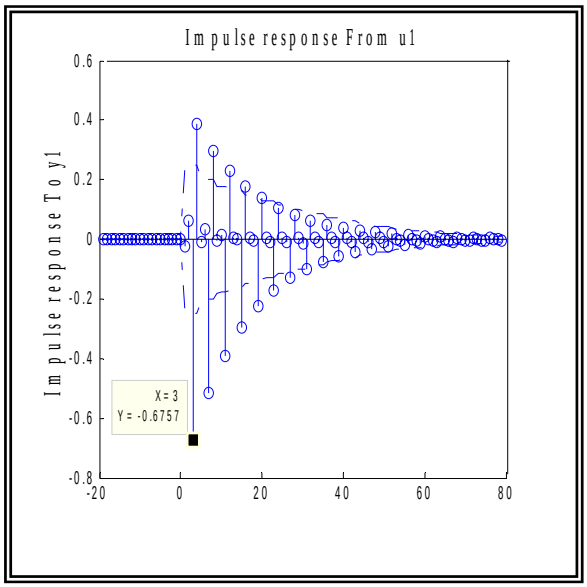
الشكل (1):دالة الاستجابة النبضية لنماذج فضاء الحالة من الرتب 1,2,3,4 لتكرار واحد للمكونات الرئيسية.



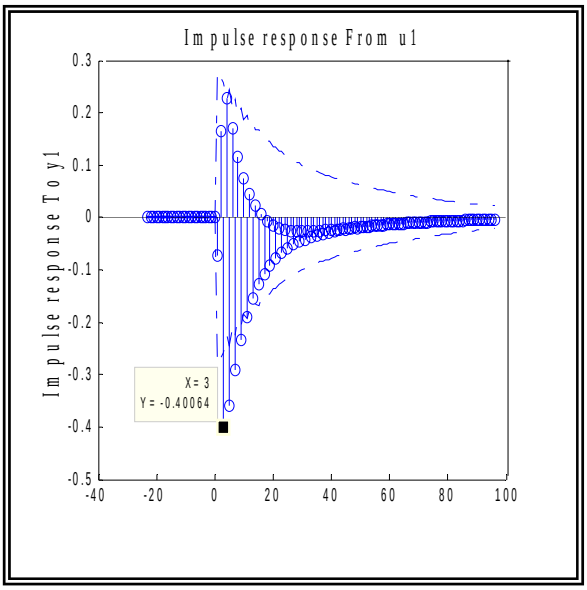
النموذج الثاني



النموذج الأول



النموذج الرابع



النموذج الثالث

الشكل(2):دالة الاستجابة النبضية لنماذج فضاء الحالة من الرتب 1,2,3,4 لتكرار واحد للبيانات الأصلية

7. منافشة النتائج:- Discussion of the Results

تبين من خلال النتائج نجاح أسلوب المكونات الرئيسية في تقدير زمن التأخير عند إيجاد دالة الاستجابة النبضية لهذه المكونات من خلال نماذج فضاء الحالـة اذ أظهرت النتائج نجاحا تاما في جميع تجارب المحاكاة وبأحجام العينـات المختلفـة بنسبة 100% وعندما يتبع التشويش التوزيع الطبيعي، وتبين ذلك من خلال رسـم دالة الاستجابة النبضية لنماذج فضاء الحالة برتب مختلفة عند الرتبة المقابلة لـزمن تأخير النموذج الديناميكي حيث تبين الاستقرارية التامة لهذه النماذج.

8. التوصيات:- Recommention

إمكانية البحث عن أساليب رياضية وإحصائية أخرى للتعامـل مـع بيانـات الإدخال- والإخراج ومن ثم تقدير زمن التـأخير فـي الـنظم الحركيـة الخطيـة التصادفية.

9. المصادر:- References

1. البدراني ،ظافر رمضان مطر ،(2002):"**دراسة في تشخيص نظم السـيطرة التصادفية مع إشارة خاصة إلى أسلوب فضاء الحالة والاستقرارية**"،أطروحة دكتوراه (غيـر منشـورة) ،كليـة علـوم الحاسـبات والرياضـيات،جامعة الموصل،العراق.

2. Jong, M.T. (1982) :"**Methods of Discrete Signal and System Analysis**", McGraw-Hill, Inc., New York, U.S.A.

3. Thanoon, B.Y., & Ibrahim, H.H. (1993):"**Detection of Delay time in stochastic control system**", Dirasat Vol.20, B, No.3 PP. (84-93).

4. Nelles, O. (2001):"**Nonlinear System Identification from Classical Approach to Neural Network and Fuzzy Models**", Springer Verlag Belin Heidelberg Germany.

5. Makridakis, S.; Wheelwright, S., & Mcgee, E., (1983):"**Forecasting: Methods and Application**s ", 2nd ed. John Wiley & Sons New York U.S.A.

6. Ljung, L. (1995): "**System Identification Toolbox for use with MATLAB**", The Mathworks Inc. Natick Massachusetts.

7. Ljung, L. (1999): "**System Identification Theory for user**", 2nd ed. Prentice Hall Upper Saddle River N.J. London UK.

8. Box, G.E.P., and Jenkines, G.M., (1976):"**Time Series Analysis Forecasting and Control** ", Holden Day Inc. 500 Sansome Street San Francisco California U.S.A.

9. Pollard, A. (1981): "**Process Control**", Heinemann Educational Books Ltd. London.