

國立台灣大學管理學院商學研究所



碩士論文

Graduate Institute of Business Administration

College of Management

National Taiwan University

Master Thesis

應用貝氏管制圖與追蹤訊號於需求監控存貨管理系統之探討

A Study on the Application of Bayesian Control Chart and

Tracking Signal for Demand Monitoring and Inventory

Management System

吳致賢

Chih-Hsien Wu

指導教授：蔣明晃 博士

Advisor : Ming-Huang Chiang, Ph.D.

中華民國 106 年 6 月

June, 2017

謝辭



時光荏苒，兩年的碩士班生活倏忽即逝，沒想到最困難的碩士論文也已經到了最後的階段。首先要感謝指導教授：蔣明晃老師，老師總是很有耐心的指導我，在討論的過程中給予我很多想法與幫助，指引我方向，有老師的諄諄教誨，碩士論文今日才得以完成。此外，也非常感謝兩位口試委員：林我聰教授與郭人介教授，在論文審查時給予我很多寶貴的意見與指點，讓我的論文得以更加完善且嚴謹。

接下來要感謝我的同門師兄弟：張維友及與朱瑞，有你們一起，寫論文過程也變得更加有趣，也很感謝你們在口試準備期間的幫助，讓口試當天一切都很順利。同時也要感謝台大商研所 R04 級的大家，這兩年來大家很熱心、體貼的幫助我，因為有大家的陪伴，讓我的碩士班生活變得更多采多姿，我們彼此砥礪、互相交流，一起經歷了無數個案報告轟炸，我覺得我真的很幸運能夠遇見大家，開拓了我的視野，讓我有想讓自己變得更好的目標與決心。這兩年來滿滿的感動與收穫，一定會成為我人生中最珍貴的回憶！

最後，感謝我的家人，十分感謝爸爸媽媽這些年來對於我們教育的重視與栽培，不管多麼辛苦與困難，都盡力去給予、滿足我們在生活及教育上的各種需求，在求學的路上也不斷的支持與鼓勵著我。雖然爸爸因癌症而在我大三那年不幸去世，沒有辦法親眼看到我考上台大、完成碩士學位，但爸爸希望我可以好好念書的冀望，我一直謹記在心，願以這小小的碩士論文獻給在天上的爸爸，跟他說我沒有辜負他的期望。也很感謝哥哥跟妹妹，這一路以來為我的生活分憂解勞，幫助我解決許許多多的問題，彌補幫助我在許多方面的不足，讓我得以心無旁騖、順順利利的完成碩士學業。

吳致賢 謹識於

國立臺灣大學 管理學院商學研究所

中華民國 一零六年六月二十八日

中文摘要



在全球化與資訊科技進步之下，使得市場資訊變得更加透明，加快了產品或服務相關資訊的傳遞速度，市場競爭變得更加激烈，因此，企業也不斷的試圖提高本身供應鏈的效率來降低成本，而存貨管理一直是供應鏈管理當中極為重要的議題。Watt et al. (1994) 首先提出將統計製程管理 (statistical process control, SPC) 中的管制圖 (control chart) 應用於存貨管理的概念，而後續也有多位學者將各式各樣的管制圖應用在存貨管理，但其多屬於頻率學派的管制圖與存貨系統之結合。本研究首先引進貝氏管制圖與追蹤訊號的概念於需求監控上，當有大量且即時性的資料時，貝氏管制圖能迅速進行更新，協助企業做出更快速、準確的決策。

本研究透過模擬不同需求變化的方式，與傳統定期盤存制存貨管理系統進行比較。結果發現，本研究所提出的需求監控存貨管理系統在需求穩定的情況之下，與傳統定期盤存制存貨系統在總成本上的表現沒有顯著差異，且當需求的波動變大時，會導致總成本微微上升，但可以發現其庫存水準比傳統的定期盤存制存貨管理低許多，可知本研究所提之系統可以有有效的監控需求變化，減少不必要的庫存。而當需求遞增時，本研究提出之系統比傳統的定期盤存制存貨管理系統不僅減少了約一半左右的成本，同時可以提供較高的服務水準。

關鍵字：存貨管理、貝氏管制圖、追蹤訊號

Abstract



With the globalization and rapid development of information technologies, market information has become more transparent, accelerating the delivery of information about products or services and making competition more intense. As a result, companies are constantly trying to improve the efficiency of their supply chain to reduce costs. Inventory management has always been an extremely important issue in supply chain management. Watt et al. (1994) first proposed the concept of the application of control charts in statistical process control (SPC) for inventory management. After that, a number of scholars had proposed and combined a variety of control charts with inventory management, but most of them belong to the frequency school. This study first introduces the concept of Bayesian control chart and tracking signal on demand monitoring. When there is a lot of real-time information, the Bayesian control chart can be updated quickly to help companies make faster and more accurate decisions.

This study simulates various patterns of demand and compares the system proposed in this study with the traditional (R, S) inventory management system. This study indicates that when the demand is constant, there is no any significant difference in total costs between the system proposed and traditional (R, S) system. Although the total cost will increase slightly when the demand fluctuates more intense, the inventory level of the system proposed is much lower than that of traditional (R, S) system, which means the system proposed can monitor the demand effectively. When the demand increases, the total cost of the system proposed is half of that of the traditional (R, S) system, and it can remain a higher service level simultaneously.

Keywords: Inventory Management, Bayesian Control Chart, Tracking Signal

目錄



謝辭.....	I
中文摘要.....	II
Abstract.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VI
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	4
1.3 論文架構.....	4
第二章 文獻探討.....	6
2.1 管制圖.....	6
2.2 管制圖應用於存貨管理.....	7
2.3 小結.....	8
第三章 研究方法.....	10
3.1 模型假設.....	10
3.2 系統符號定義.....	11
3.3 系統流程架構與建立.....	13
第四章 模擬與數據分析.....	21
4.1 模擬環境之建構與設計.....	21



4.2 模擬參數設定與績效衡量指標.....	24
4.3 模擬結果分析.....	26
第五章 結論與建議.....	29
5.1 研究結論.....	29
5.2 研究貢獻.....	30
5.3 研究限制.....	30
5.4 未來研究方向.....	31
參考文獻.....	32

圖目錄



圖 1-1 論文架構圖	5
圖 3-1 本研究之需求監控存貨管理系統決策流程圖	14
圖 3-2 貝氏管制圖與追蹤訊號圖	15
圖 4-1 需求量穩定、需求波動穩定之需求模擬圖	22
圖 4-2 需求量穩定、需求波動變大之需求模擬圖	22
圖 4-3 需求量遞增、需求波動穩定之需求模擬圖	23
圖 4-4 需求量遞增、需求波動變大之需求模擬圖	23

表目錄

表 2-1 管制圖應用於存貨管理之相關文獻 (本研究整理).....	9
表 4-1 各項參數初始設定值	24
表 4-2 Khouja & Stylianou (2009) 所採用的零售商成本資訊	24
表 4-3 在需求量穩定、需求波動穩定之下各績效指標表現	26
表 4-4 在需求量穩定、需求波動變大之下各績效指標表現	26
表 4-5 在需求量遞增、需求波動穩定之下各績效指標表現	27
表 4-6 在需求量遞增、需求波動變大之下各績效指標表現	28



第一章 緒論

隨著科技的發展日新月異，使得大數據 (big data) 的浪潮席捲而來，而網際網路與行動裝置的普及，也使得市場資訊變得比以往更加透明、傳遞速度更快，市場競爭也變得更加激烈。企業利用各式各樣的管道與方式，蒐集到更多即時性的銷售資料，並透過資料整合，快速了解產品需求的變化情況，進而迅速調整存貨策略，提高供應鏈與存貨管理系統的效率與效能。首先，本章在 1.1 節將描述研究背景與動機，而 1.2 節則提出本研究之目的，最後在 1.3 節說明本論文之完整架構。

1.1 研究背景與動機

在全球化的浪潮與資訊科技進步之下，使得市場資訊變得更加透明，加快了產品或服務相關資訊的傳遞速度，也使得產品的生命週期縮短，市場競爭變得更加激烈。而企業為了在競爭激烈的環境中提高其本身的獲利，主要會從兩方面著手，分別是：提高單位售價與降低單位成本。提高單位售價的方法主要是提供競爭對手所沒有的產品或服務，來滿足特定顧客的需求，或是提供品質高、客製化及可快速滿足顧客需求的產品或服務，並透過一系列的行銷策略來達到差異化；降低單位成本方法包括：縮短前置時間、縮短交期、提高製程能力或增加生產系統的彈性，透過上述幾種手法，進而使企業減少缺貨成本 (understock cost) 或庫存成本 (overstock cost)。

存貨管理一直是供應鏈管理當中極為重要的議題，自 Harris (1915) 提出經濟訂購量 (economic quantity order model, EOQ) 模型之後，許多的學者相繼提出各式各樣的存貨管理系統，以滿足在實務上各種需求變化、缺貨成本、數量折扣及多品項等情況下所適合的存貨管理系統，提高存貨管理的效率，增加企業獲利的可能性。1950 年代，日本豐田汽車提出了即時存貨管理 (just-in-time, JIT) 的概念，追求無庫存的即時生產模式不僅降低存貨的大量堆積，也減少了生產流程中的閒置時間，透過精實生產 (lean production) 模式，企業得以提供更加客製化的產品給顧客，提高顧客的滿意度。隨著科技的快速進展，物料需求計劃 (material

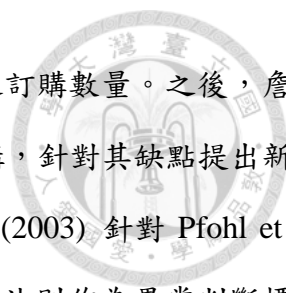


requirements planning, MRP) 系統使得企業在存貨與生產的管理上更加便利與快速，其透過解析物料結構與需求之間的關係，擬定相對應的物料清單 (bill of material, BOM) ，幫助企業在存貨規劃與生產排程上更有效率。

近年來，由於資訊系統與資料倉儲等技術的發展，大數據 (big data) 一詞逐漸興起，已成為各大企業的經營策略重心，其希望能透過各式各樣的管道來蒐集更多消費者的相關消費資料，並經過資料整合與模型分析之後，更清楚了解消費者的需求偏好與消費習性。在大數據的浪潮之下，零售業者可以藉由銷售時點情報系統 (point-of-sale, POS) 或電商平台後端資料庫來獲得消費者在實體店面或電子商務平台等多個通路的大量消費紀錄，使之能更快速發掘市場需求之變化，並即時的調整存貨供給與資源分配。換而言之，零售業者可以透過資訊科技與數據分析能力的結合，不斷的改善其生產及存貨管理的流程與模式，建立良好的存貨管理系統，使之在維持一定的顧客服務水準 (customer service level, CSL) 之下，同時降低不必要的庫存成本與缺貨成本，幫助其在日益激烈的市場競爭下維持優勢，永續存活。

為了降低存貨成本，已有許多學者提出各種模型與方法針對不同需求變化進行預測，Efendigil et al. (2009) 認為傳統的時間序列模型或迴歸模型適用於預測有趨勢或季節性的需求。Alon et al. (2001) 則是應用類神經網絡 (artificial neural network, ANN) 去預測美國零售業的銷售需求，並與指數平滑法、ARIMA 模型與多元迴歸模型做比較。而 Aburto & Weber (2007) 提出的混合智能系統 (hybrid intelligent system) 需求預測則是結合了傳統 ARIMA 模型與神經網絡。Carbonneau et al. (2008) 同樣提出了神經網絡、遞歸神經網絡 (recurrent neural networks, RNN) 與支持向量機 (support vector machine, SVM) 等機器學習 (machine learning) 方法來進行需求的預測。不管是傳統的統計模型或最近熱門的機器學習方法，都是希望透過提高需求預測的精準度來降低庫存成本與缺貨損失。

而另一派的學者則是從需求或存貨監控的角度出發，Watt et al. (1994) 首先提出將統計製程管理 (statistical process control, SPC) 中的管制圖 (control chart) 應用於存貨管理的概念，藉由管制圖監控即時回饋再訂購系統 (reorder-point inventory system) 之績效，並建立起判斷系統失常的診斷流程。Pfohl et al. (1999) 則探討實務上如何將管制圖應用在監控需求及存貨



變異，並建立相對應的決策法則，最後根據決策法則決定下期所需之訂購數量。之後，詹易整 (2000) 以 Pfohl et al. (1999) 發展的 SPC 存貨管理系統為基本架構，針對其缺點提出新的決策法則，並與定期盤存制 (R, S) 存貨管理系統進行比較。葉卓華 (2003) 針對 Pfohl et al. (1999) 提出之決策法則做修正，加入西方電器 (1956) 所提出的決策法則作為異常判斷標準並應用於存貨管理之中。在考量市場需求具有自我相關性 (auto-correlation) 之情形下，王皓翔 (2004) 則引進了變動中心線指數加權移動平均 (moving centerline exponentially weighted moving average, MCEWMA) 管制圖的概念於需求監控系統。而同樣的，Cheng & Chou (2008) 也考慮到需求的自相關性，於是結合了 Jiang et al. (2000) 提出的自我相關移動平均 (auto-regression moving average, ARMA) 管制圖與西方電器法則的概念，建立需求監控存貨系統。後續也有許多學者應用不同類型的管制圖於存貨管理系統上，並透過模擬的方式比較不同存貨系統的績效表現 (簡秀雲, 2009；霍正傑, 2010)。

雖然已有各式各樣的管制圖應用在存貨管理的研究，但其上述方法多屬於頻率學派的管制圖與存貨系統之結合，目前尚未有文獻結合貝氏管制圖於存貨管理之中。在資訊傳遞快速、透明的現今，消費者的需求波動更容易受到市場資訊的影響，面對需求的快速變化，企業必須具備更立即性的反應能力。本研究引進貝氏管制圖與追蹤訊號的概念於需求監控上，當有大量且即時性的資料時，貝氏管制圖能迅速進行更新，協助企業做出更快速、準確的決策。

而在存貨系統方面，實務上為使作業方便，某些產業的訂貨政策多為等需求累積到一定數量時訂貨，或是設定固定的間隔時間訂貨，例如：零售服飾業的 UNIQLO，此種產業較符合存貨管理上定期盤存制的概念，而結合動態的貝氏管制圖概念，可以使存貨管理系統更加有彈性，使之能對需求之波動更加敏感，降低存貨成本。



1.2 研究目的

根據 1.1 節所述，可以發現目前實務上本研究探討之議題的重要性與價值，同時也發現過去文獻對貝氏管制圖與存貨管理之結合著墨較少，尚有文獻上的缺口。故本研究目的有以下三點：

1. 應用貝氏管制圖的概念，建立適合的存貨管理系統，提高存貨管理績效。
2. 在不同需求變化之下，衡量結合貝氏管制圖於存貨管理模型的績效優劣。
3. 根據本研究之發現，進一步提出其在實務上之管理意涵。

1.3 論文架構

第一章說明了本研究的研究背景與動機、研究目的與論文架構。第二章回顧管制圖的發展與應用，並整理過去應用管制圖於存貨管理的文獻。第三章將會結合貝氏管制圖及追蹤訊號於存貨系統，並建立相對應之決策法則，且根據此法則決定存貨下訂水準與訂購量。第四章模擬在不同需求變化下，衡量其與傳統定期盤存制存貨管理系統之績效差異，最後，在第五章我們會對結果進行分析與探討，並提出未來的研究方向。圖 1-1 為本論文的架構圖。

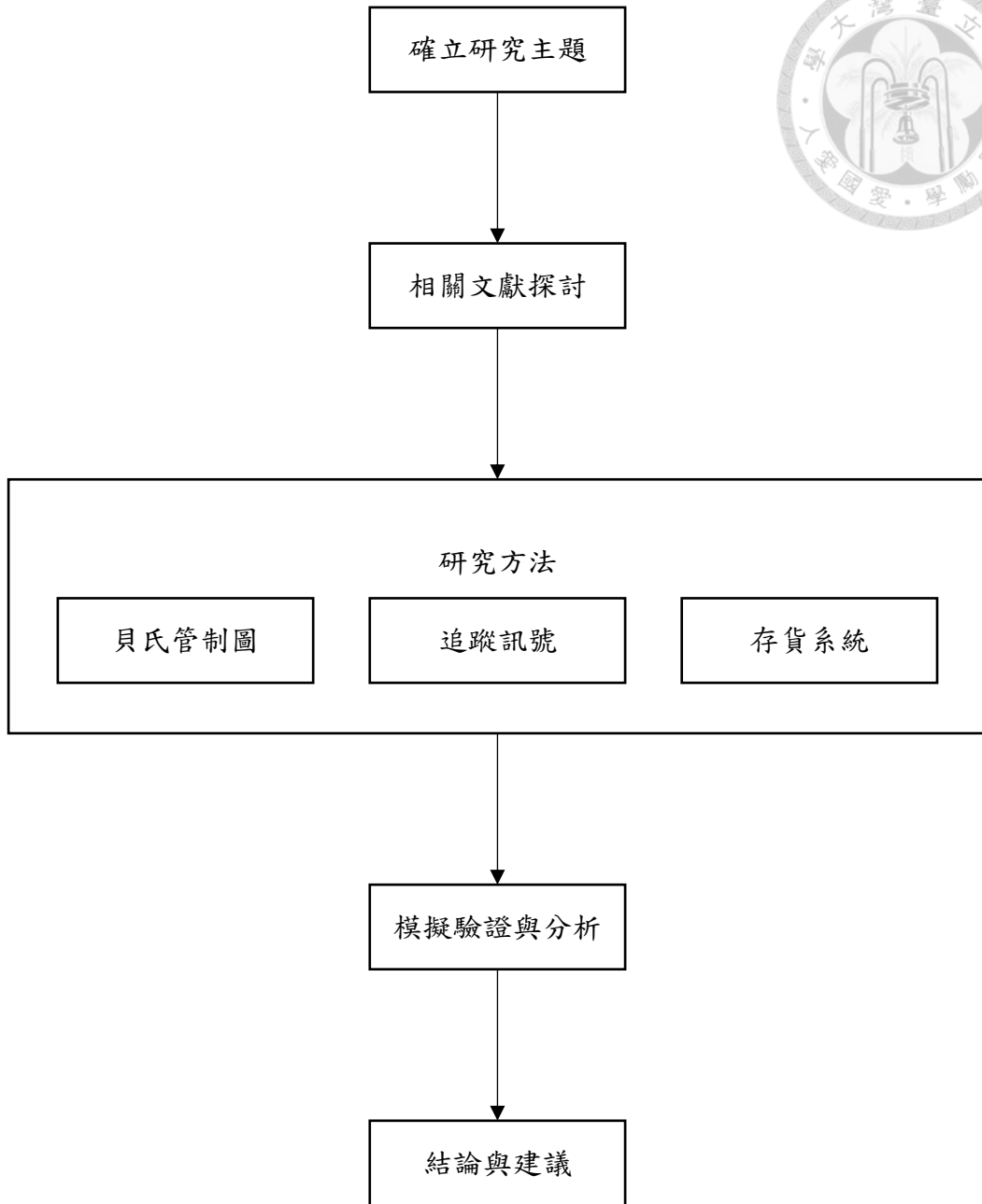


圖 1 - 1 論文架構圖

第二章 文獻探討



本章希望透過文獻的探討與整理，找到過去文獻之缺口，進而界定研究範圍與方法。本章 2.1 節主要簡介統計製程管理中管制圖的到目前為止的應用與發展，且著重在本研究所使用的貝氏管制圖，最後，在 2.2 節探討過去結合 SPC 管制圖於存貨管理的相關文獻，建立本研究之模型架構。

2.1 管制圖

2.1.1 頻率學派管制圖

自 1930 年代 W. A. Shewhart 提出統計製程管理的概念以來，管制圖的技術已被廣泛的使用於工業的製程控制與改善 (Woodall & Montgomery, 1993 ; Stoumbos et al., 2000)。透過設置管制上限 (upper control limit, UCL) 與管制下限 (lower control limit, LCL)，監控製程生產的績效表現，並且辨識、偵測異常發生。但因為傳統 Shewhart 管制圖在製程微小偏移的時的偵測效果並不好，所以陸陸續續有其他的管制圖方法發展出來，實證上發現 EWMA 管制圖與 CUSUM 管制圖在微小偏移時的偵測表現都優於傳統的 Shewhart 管制圖 (Crowder et al., 1997)。

除了在製程監控上的應用，MacCarthy & Wasusri (2001) 整理了 1989 到 2000 年間，SPC 應用在其他領域的相關文獻，作者將其應用領域分為四類：(i) 工程、工業與環境；(ii) 健康照護；(iii) 一般服務部門；及 (iv) 統計預測，也發現其蒐集的文獻當中，有 74% 的研究使用的是傳統的 Shewhart 管制圖，只有 26% 的研究應用 ARIMA 管制圖、CUSUM 管制圖與 χ^2 管制圖等較進階的管制圖。



2.1.2 貝氏管制圖

雖然貝氏管制圖與 EWMA 管制圖同樣都是利用過去的資料來建立管制圖，但其中的差異在於貝氏管制圖會因為蒐集到的樣本數不同，改變先驗分佈與樣本資訊各自的權重。Woodwar & Naylor (1993) 認為傳統的 SPC 管制圖唯有在長期穩定的趨勢之下，並透過反覆抽樣的方式才得以建立，但這並不適用於生產週期短、每批次數量少的產品上，而貝氏管制圖的優勢在於可以結合先驗分佈與製程產生的資料，進行製程的即時監控調整。Wu, et al. (2015) 利用 Bartlett's test、變異數分析 (ANOVA analysis) 等方法來建構較適當的先驗分佈，使得在樣本數量較少的情況下，共軛貝氏法 (conjugate Bayesian approach) 建立的管制界限比傳統頻率學派的方法表現更好。

2.2 管制圖應用於存貨管理

企業的物流成本 (logistics cost) 來源當中，存貨成本通常幾乎占了一半的比例 (Pfohl et al. 1999)。Aggarwal (1974) 和 Silver (1981) 分別整理了許多學者以減少存貨成本為目的而研究發展的各種更有效率的存貨管理系統。然而，大部分的存貨管理系統通常只考慮了不同的需求變化 (various demand patterns)、數量折扣(quantity discounts)、缺貨成本 (stock-out cost)、前置時間變異 (lead time variation)、多階層和多品項 (multi-stage and multi-item) 的情況，但是較少概念或技術應用於監控及診斷存貨管理系統的績效表現 (Cheng & Chou, 2008)。過去常用於監控制程異常或飄移的 SPC 手法近年來也被應用於存貨管理當中，透過各式管制圖來監控市場需求與存貨水準的變化或趨勢。Watt et al. (1994) 首先提出將統計製程管理中的管制圖應用於再訂購存貨系統的概念，透過管制圖監控缺貨、需求與存貨周轉率等影響存貨系統表現的三個因素，並即時回饋再訂購存貨系統之績效表現，建立辨識及診斷系統失常原因的流程。Pfohl et al. (1999) 則探討實務上如何將管制圖應用在監控需求及存貨變異，並在管制圖出現異常狀況時建立一系列相對應的決策法則，決定下期所需之訂購數量。詹易整 (2000) 以 Pfohl et al. (1999) 發展的 SPC 存貨管理系統為基本架構，針對其缺點提出新的決策法則，

並與 (R, S) 系統進行比較。葉卓華 (2003) 針對 Pfohl et al. (1999) 提出之決策法則做修正，加入西方電器 (1956) 所提出的決策法則作為異常判斷標準並應用於存貨管理之中。

在考量市場需求具有自我相關性之情形下，王皓翔 (2004) 則引進了變動中心線指數加權移動平均管制圖的概念於需求監控系統。Cheng & Chou, (2008) 對 Pfohl et al. (1999) 所做的研究再進行延伸，引進 Jiang et al. (2000) 的 ARMA 模型於需求監控上，同時透過個別值管制圖 (individual control chart) 與西方電器法則之結合，用於存貨水準之監控。

此外，也有學者探討了如何應用 SPC 的管制圖手法減少供應鏈中長鞭效應 (bullwhip effect) 的影響，Lee & Wu (2006) 探討當單一供應商與單一零售商可以選擇 (s, Q) 或 (R, S) 的存貨管理政策下，應用 SPC 管制圖方法的績效表現。作者發現當供應商與零售商都選擇 (s, Q) 存貨管理政策時，SPC 方法可以有效的降低缺貨次數與存貨水準。Costantino et al. (2014a, 2014b) 考慮在動態複雜的多階層供應鏈的情況之下，欲透過管制圖的手法即時監控存貨系統的波動。作者首先運用需求管制圖動態調整對於需求平均之估計，再用存貨水準管制圖監控存貨水準，並根據系統監控到的變化，決定每期之訂購數量，其計算公式為當期的需求平均再加上部分用於維持存貨水準的數量，此方法使訂購數量可較為平滑，減少長鞭效應。Costantino et al. (2015) 延伸探討 Costantino et al. (2014a, 2014b) 所提出之存貨管理模型，研究此模型對於不同的需求變化或前置時間的敏感度。

2.3 小結

經過前兩節的文獻回顧，可以發現管制圖的概念不只應用於製程監控上，在適當的情境之下，管制圖也可以應用於不同的領域，但 Crowder et al. (1997) 認為 SPC 方法的發展在某些領域的實務應用上，依然存在著巨大的鴻溝。雖然已有各式各樣的管制圖應用在存貨管理的研究，但過去文獻主要屬於頻率學派的管制圖與存貨系統之結合，如表 2-1 所示。目前尚未有文獻結合貝氏管制圖於存貨管理之中，故本研究欲應用貝氏管制圖於需求的監控上，提供更有彈性且靈敏的偵測方法，使存貨管理系統能更有效的降低存貨數量，減少存貨成本。

表 2-1 管制圖應用於存貨管理之相關文獻 (本研究整理)

學者	研究貢獻	存貨系統模式	績效衡量指標
Watts et al. (1994)	首先提出將 SPC 應用於再訂購存貨系統，透過管制圖監控缺貨、需求與存貨周轉率，並建立診斷系統失常原因的流程。	(s, Q)	存貨成本
Pfohl et al. (1999)	透過 Shewart 管制圖監控需求與存貨水準，並在管制圖出現異常狀況時建立一系列相對應的決策法則，決定訂購量。	ABC 系統	存貨水準 服務水準 缺貨水準
Lee & Wu (2006)	探討兩階層供應鏈可選擇不同存貨政策下，比較傳統的存貨政策與加入 SPC 方法的存貨政策之優劣。	(s, Q) (R, S)	存貨水準 服務水準 缺貨次數
Cheng & Chou (2008)	透過 ARMA 管制圖監控需求變化，並引進西方電器法則作為決策法則。	(R, S)	存貨水準 服務水準 缺貨水準
Costantino et al. (2014a, 2014b)	考慮多階層供應鏈存在長鞭效應的情況之下，透過管制圖的手法來監控即時存貨補貨系統的波動。	(R, S)	長鞭效應 服務水準 存貨變異
Costantino et al. (2015)	延伸探討 Costantino et al. (2014a, 2014b) 所提出之存貨管理系統，探討此系統對於不同的需求變化或前置時間的敏感度。	(R, S)	長鞭效應 服務水準 存貨變異 供應鏈總變異

第三章 研究方法



本章在 3.1 節會先建立及說明本研究之模型假設；在 3.2 節會定義本研究所使用到的符號，並解釋其意義；3.3 節的部分會詳細敘述本研究所使用到的研究方法之相關數學公式，而研究方法分別包含了貝氏管制圖、追蹤訊號及存貨管理系統。

3.1 模型假設

現實社會中，企業的存貨管理機制十分的複雜多變，會因不同的製程生產特性、產品屬性、消費者購買習性或供應鏈的整合模式，導致其適合的存貨管理模式也會有所差異，本研究以零售業之存貨策略與產品為例，提出下列模型簡化之假設：

1. 對於市場需求的資訊掌握僅限於需求分佈。
2. 僅探討單一產品需求，產品之間的需求分佈視為彼此獨立。
3. 需求服從常態分佈，此分佈的期望值與變異數為未知參數，且其聯合共軛先驗分佈為 Normal-gamma 分佈。給定變異數為某一定值之下其期望值服從常態分佈，且變異數的倒數的邊際分佈服從 Gamma 分佈。
4. 需求無季節性變化。
5. 存貨系統為定期盤存制，且僅考慮單純買賣系統。
6. 供應商有足夠的供貨能力，下訂單後即可立即出貨，沒有前置時間 (lead time)。
7. 庫存沒有容量限制，故每單位庫存成本可視為固定常數。
8. 每期檢視存貨水準並根據當期的存貨水準與存貨下訂水準 (order-up-to level, OUL) 差距數量訂貨。
9. 可缺貨後補(backlog)，即若無法滿足顧客全部貨品，將先配送現貨部分，其於會在貨品到達時再進行補貨，但缺貨部分須付出缺貨成本，缺貨成本為固定常數。
10. 不考慮訂貨時產生的數量折扣。
11. 每期訂貨成本固定不變。



3.2 系統符號定義

為建立完整的需求監控存貨管理系統模型，在此，本研究先說明此系統的參數、變數與機率分配。以下為本研究之各項參數、變數與機率分配之符號定義：

(1) 參數

n ：偵測到需求異常時所納入計算的過去資料期數

z ：安全存貨係數

γ ：信心水準

μ_0 ： μ 的先驗分佈期望值

λ_0 ：比例參數

α_0 ： τ 的先驗分佈形狀參數

β_0 ： τ 的先驗分佈尺度參數

σ_0 ： μ 的先驗邊際機率分佈之標準差

δ ：追蹤訊號設定值

(2) 變數

IP_t ：第 t 期的存貨水準

UCL_t ：第 t 期管制上限

CL_t ：第 t 期管制中心線

LCL_t ：第 t 期管制下限

OUL_t ：第 t 期存貨下訂水準

O_t ：第 t 期訂貨量

m ：相鄰兩次需求超過管制界限的間隔期數

μ' ： μ 的後驗分佈期望值

λ' ： μ 的後驗分佈比例參數



α' : τ 的後驗分佈形狀參數

β' : τ 的後驗分佈尺度參數

σ' : μ 的後驗邊際機率分佈之標準差

TS : 追蹤訊號

MAD : 平均絕對離差 (mean absolute deviation)

(3) 機率分配

μ : 需求量之期望值

τ : 需求量之變異數倒數

D_t : 每期需求量服從 $N(\mu, \tau)$

$f(\mu|\tau)$: 在給定 τ 之下, μ 的先驗條件機率服從 $N(\mu_0, \lambda_0\tau)$

$f(\mu|\tau, \mathcal{D})$: 在給定 τ 和樣本集合 \mathcal{D} 之下, μ 的後驗條件機率服從 $N(\mu', \lambda'\tau)$

$f(\tau)$: τ 的先驗邊際機率分佈服從 $gamma(\alpha_0, \beta_0)$

$f(\tau|\mathcal{D})$: 給定樣本集合 \mathcal{D} 之下, τ 的後驗邊際機率分佈服從 $gamma(\alpha', \beta')$



3.3 系統流程架構與建立

3.3.1 需求監控存貨管理系統決策流程

本研究所架構之需求監控存貨管理系統決策流程會先根據企業過去蒐集的歷史資料作為需求的先驗分佈，並假設需求為常態分佈，過去歷史資料的平均值與變異數則作為先驗分佈的平均值與變異數，並根據需求的先驗分佈建立初始化之貝氏管制圖上下限(UCL_0 、 LCL_0) 與存貨下訂水準 (OUL_0)，並且決定初始的訂購量 (Q_0)。

此後，本系統會定期去檢視新產生之需求量，並以貝氏管制圖監控當期需求量是否超過該管制圖之管制上下限。若當期需求量落在當期之管制上下限之外時，則計算當期追蹤訊號大小，取當期需求量與系統前一次偵測到系統失控之間的資料，共 m 期的需求量为樣本。若追蹤訊號超過系統設定值 δ 時，本系統取當期及前 $n-1$ 期的需求量为樣本 (共 n 筆資料， $n \leq m$)，更新對需求量之預測、貝氏管制圖之管制上下限 (UCL' 、 LCL') 與存貨下訂水準 (OUL')，並根據更新之後的存貨下訂水準與當期存貨水位 (IP_t) 差異，決定當期的訂購量 (Q_t)；若需求量未落在管制上下限之外，或是需求量已落在管制上下限之外，但當期之追蹤信號未超過設定值 δ 時，則維持原本系統的需求量預測、貝氏管制圖的管制上下限與存貨下訂水準，並根據原本的存貨下訂水準與當期存貨水位差異，決定當期的訂購量。更新之後，則重新將後驗分佈視為先驗分佈，反覆此系統流程。圖 3-1 本研究之需求監控存貨管理系統決策流程圖。圖 3-2 為貝氏管制圖與追蹤訊號圖。

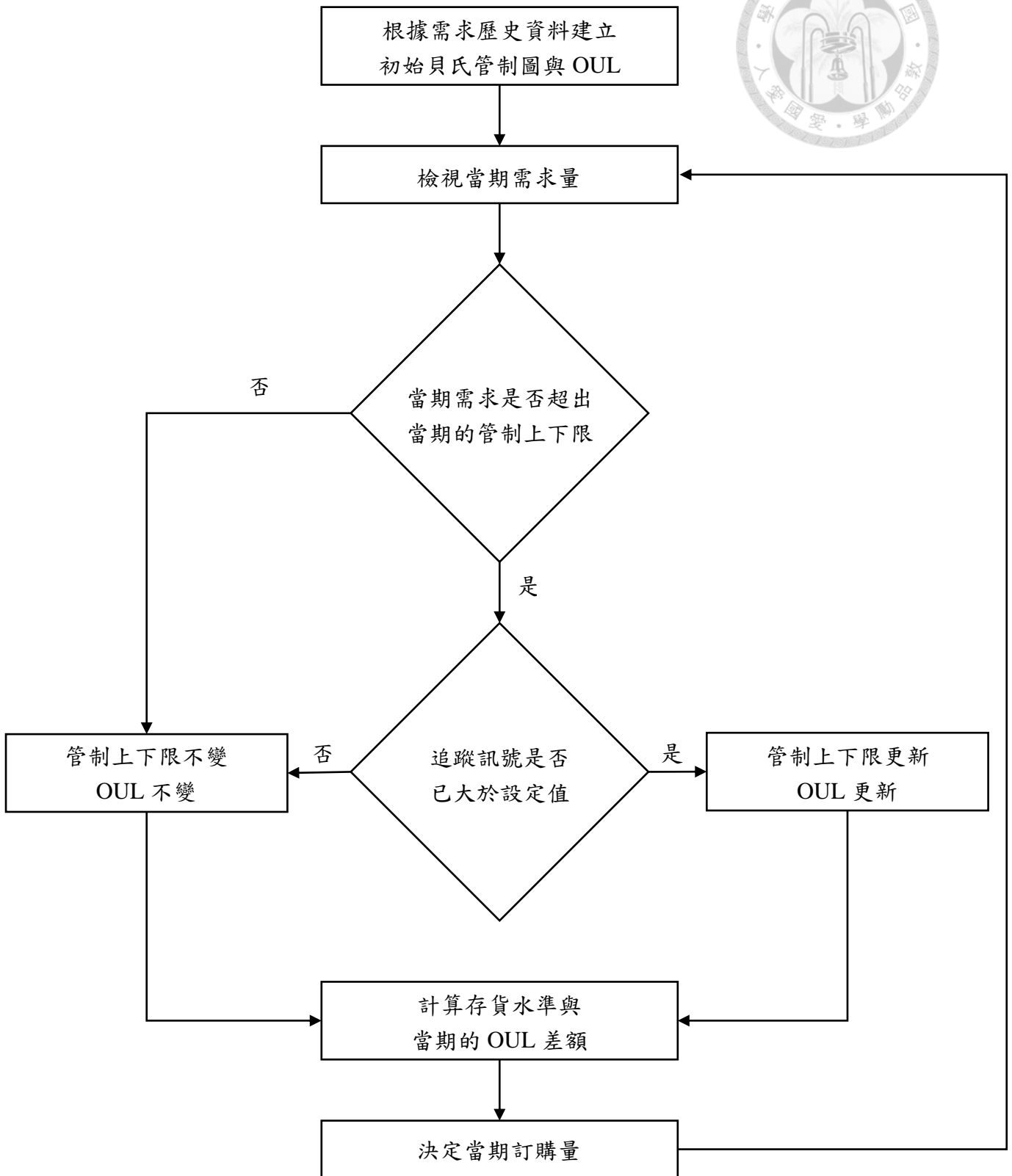
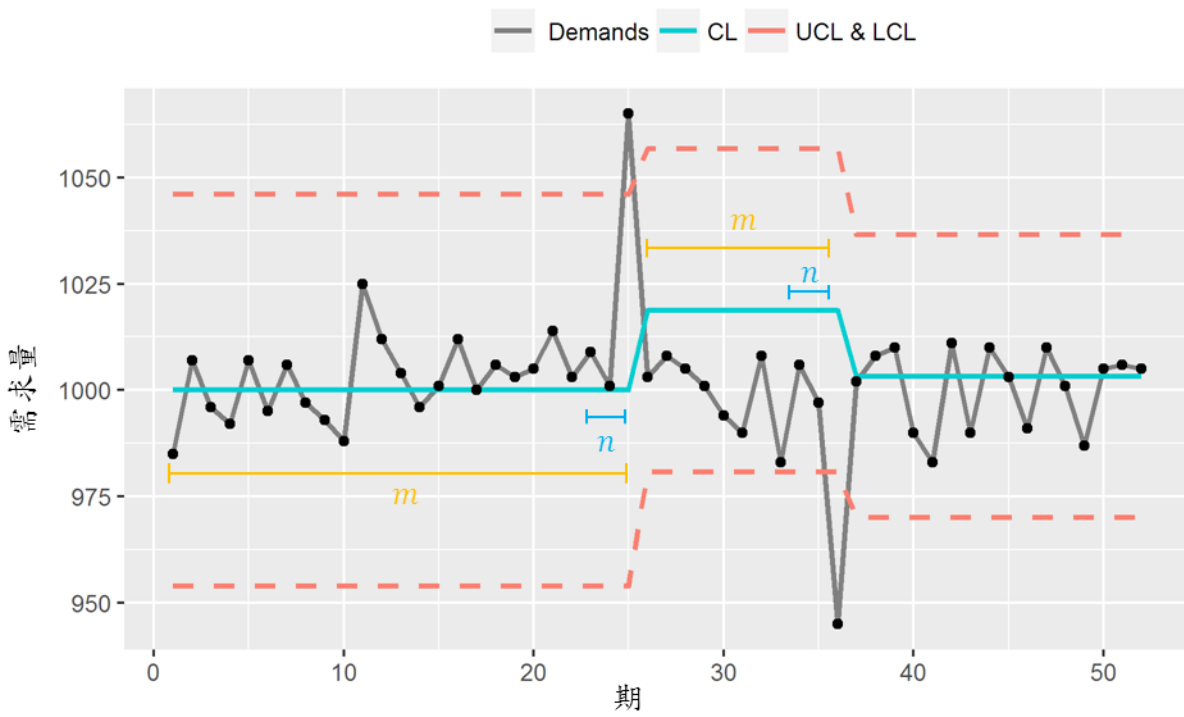


圖 3-1 本研究之需求監控存貨管理系統決策流程圖



貝氏管制圖 (Bayesian Control Chart)



追蹤訊號 (Tracking Signal)

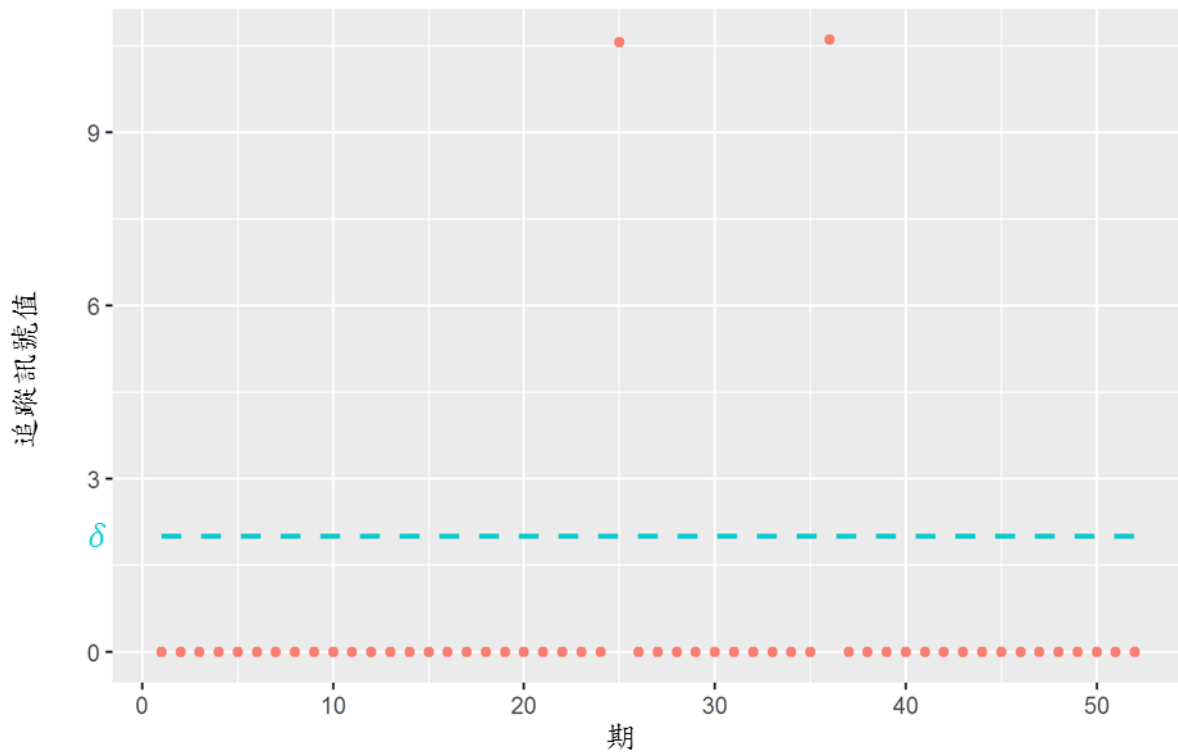


圖 3 - 2 貝氏管制圖與追蹤訊號圖



3.3.2 貝氏管制圖

(1) 初始化貝氏管制圖

在建立存貨管理系統時，通常假設需求會服從期望值與變異數皆已知的常態分佈，但在實務上，需求會不斷隨時間而變動，故其期望值與變異數並不會是定值，本研究假設需求分佈服從常態分佈 $N(\mu, \tau)$ ，其期望值 μ 與變異數倒數 τ 皆為未知隨機變數，且 μ 和 τ 的聯合共軛先驗機率分佈 (joint conjugate prior distribution) 為 Normal-gamma 分佈，可知在給定 τ 之下， μ 的條件機率 $f(\mu|\tau)$ 為常態分佈，而 τ 的邊際機率分佈 $f(\tau)$ 為 Gamma 分佈。本研究將過去歷史資料視為需求的先驗分佈 (prior distribution)，並假設此分佈服從常態分佈 $N(\mu_0, \lambda_0 \tau)$ ，故可得式 (3.1) 與 (3.2)。

$$f(\mu|\tau) \sim N(\mu_0, \lambda_0 \tau), \quad -\infty < \mu_0 < \infty \text{ 且 } \lambda_0 > 0 \quad (3.1)$$

$$f(\tau) \sim \text{gamma}(\alpha_0, \beta_0), \quad \alpha_0 > 0 \text{ 且 } \beta_0 > 0 \quad (3.2)$$

μ_0 、 λ_0 、 α_0 、 β_0 分別為先驗分佈的超參數 (hyper-parameter)，運用貝氏統計的概念，可以根據收集與紀錄到的真實需求量去更新其原先之需求預測。同時，經過數學推導證明，可以得到 μ 的邊際機率分佈來自於服從 t 分佈，自由度 $2\alpha_0$ 的隨機變數 V 轉換：

$$V = \left(\frac{\lambda_0 \alpha_0}{\beta_0} \right)^{\frac{1}{2}} (\mu - \mu_0) \quad (3.3)$$

接下來，根據本研究設定之信心水準 γ ，建立 V 之信賴區間：

$$\Pr \left(-t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} < V < t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} \right) = \gamma \quad (3.4)$$



並將式 (3.3) 帶入式 (3.4) ，可得式 (3.5) 與 (3.6)：

$$Pr\left(-t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} < \left(\frac{\lambda_0\alpha_0}{\beta_0}\right)^{\frac{1}{2}}(\mu - \mu_0) < t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}}\right) = \gamma \quad (3.5)$$

$$Pr\left(\mu_0 - t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta_0}{\lambda_0\alpha_0}\right)^{\frac{1}{2}} < \mu < \mu_0 + t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta_0}{\lambda_0\alpha_0}\right)^{\frac{1}{2}}\right) = \gamma \quad (3.6)$$

之後，依據式 (3.6) 所求得之信賴區間，作為 μ 的貝氏管制圖之管制上下限。因此在給定信心水準為 γ 之下，需求的貝氏管制圖之管制中心線與管制上下限分別為：

$$UCL_0 = \mu_0 + t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta_0}{\lambda_0\alpha_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.7)$$

$$CL_0 = \mu_0 \quad (3.8)$$

$$LCL_0 = \mu_0 - t_{2\alpha_0, \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta_0}{\lambda_0\alpha_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.9)$$

若假設 $\alpha_0 > 1$ 的情況之下，可以求得 μ 的邊際機率之期望值與變異數，之後用於存貨下訂水準之計算：

$$E(\mu) = \left(\frac{\beta_0}{\lambda_0\alpha_0}\right)^{\frac{1}{2}} E(V) + \mu_0 = \mu_0 \quad (3.10)$$

$$Var(\mu) = \sigma_0 = \frac{\beta_0}{\lambda_0(\alpha_0-1)} \quad (3.11)$$

(2) 更新貝氏管制圖

根據決策法則，當需求超過原本貝氏管制圖的管制上下限且追蹤訊號大於設定值時，則計算並建立新的需求信賴區間。假設取 n 期的需求資料，分別為 D_1, D_2, \dots, D_n ，其樣本集合為 \mathcal{D} ，平均數為 \bar{D}_n ，離差平方和 (sum of square of deviation) 為 s_n^2 ，可求得需求後驗條件機率分佈 $f(\mu|\tau, \mathcal{D})$ 與 τ 的後驗邊際機率分佈 $f(\tau|\mathcal{D})$ ：

$$f(\mu|\tau, \mathcal{D}) \sim N(\mu', \lambda' \tau), \quad -\infty < \mu < \infty \text{ 且 } \lambda' > 0 \quad (3.12)$$

$$\mu' = \frac{\lambda_0 \mu_0 + n \bar{d}_n}{\lambda_0 + n} \text{ 且 } \lambda' = \lambda_0 + n$$



$$f(\tau|\mathcal{D}) \sim \text{gamma}(\alpha', \beta'), \quad \alpha' > 0 \text{ 且 } \beta' > 0 \quad (3.13)$$

$$\alpha' = \alpha_0 + \frac{n}{2} \text{ 且 } \beta' = \beta_0 + \frac{1}{2} s_n^2 + \frac{n \lambda_0 (\bar{d}_n - \mu_0)^2}{2(\lambda_0 + n)}$$

接下來，參照式 (3.3) 到 (3.6) 的計算方式，建構 μ 新的信賴區間上下界，並作為新的貝氏管制圖之管制上下限：

$$\Pr\left(-t_{2\alpha', \frac{1-\gamma}{2}} < \left(\frac{\lambda' \alpha'}{\beta'}\right)^{\frac{1}{2}} (\mu - \mu') < t_{2\alpha', \frac{1-\gamma}{2}} | \mathcal{D}\right) = \gamma \quad (3.14)$$

$$\Pr\left(\mu' - t_{2\alpha', \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta'}{\lambda' \alpha'}\right)^{\frac{1}{2}} < \mu < \mu' + t_{2\alpha', \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta'}{\lambda' \alpha'}\right)^{\frac{1}{2}} | \mathcal{D}\right) = \gamma \quad (3.15)$$

$$UCL' = \mu' + t_{2\alpha', \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta'}{\lambda' \alpha'}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.16)$$

$$CL' = \mu' \quad (3.17)$$

$$LCL' = \mu' - t_{2\alpha', \frac{1-\gamma}{2}} \times \left(\frac{\beta'}{\lambda' \alpha'}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.18)$$

同時參照式 (3.10) 與 (3.11) 的方式，重新計算 μ 的後驗邊際機率之期望值與變異數，且使用更新後之期望值與變異數計算新的存貨下訂水準：

$$\mu = \left(\frac{\beta'}{\lambda' \alpha'}\right)^{\frac{1}{2}} V + \mu' \quad (3.19)$$

$$E(\mu) = \mu' \quad (3.20)$$

$$\text{Var}(\mu) = \sigma' = \frac{\beta'}{\lambda'(\alpha'-1)} \quad (3.21)$$



3.3.3 追蹤訊號

追蹤訊號通常用來監控預測的結果與實際上的結果是否有不一致的現象產生，本研究為避免異常性的需求波動，使得管制圖過於靈敏，導致管制圖參數需要不斷更新，在實務上不易使用的困境，故引進追蹤訊號的概念，使整個需求監控系統可保有貝式管制圖對微小需求波動的良好動態監控性，也可過濾掉需求突然升高或降低的異常訊號。當發現第 t 期的需求超過管制上下限時，取當期需求量與系統前一次偵測到系統失控之間共 m 期的需求為樣本，計算當期之追蹤訊號值，本研究採用的追蹤訊號公式如下：

$$TS = \left| \frac{\sum_{i=1}^m (D_{t-i+1} - \mu)}{MAD} \right| \quad (3.22)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^m |D_{t-i+1} - \mu|}{m} \quad (3.23)$$

如果 TS 大於設定值 δ 時，可視為需求有明顯的趨勢波動變化，進而更新需求分佈之超參數為 μ' 、 λ' 、 α' 、 β' ，再重新計算管制上下限與存貨下訂水準。



3.3.4 定期盤存制之當期存貨下訂水準與訂購量

(1) 初始化存貨下訂水準與訂購量

在一般的定期盤存制的存貨系統當中，存貨下訂水準取決於每期的需求量、需求量波動度、前置時間、訂貨間隔時間 (time between orders, TBO) 與存貨安全係數。本研究假設為每期訂貨 (TBO=1) 且無前置時間，故簡化之存貨下訂水準的公式與系統初始之訂購量如下：

$$OUL_0 = \mu + z \times \sigma_0 \quad (3.24)$$

$$Q_0 = OUL_0 - IP_0 \quad (3.25)$$

(2) 更新存貨下訂水準與訂購量

在給定安全存貨係數不變之下，當需求在第 t 期超過管制上下限且追蹤訊號超過設定值時，會進行需求預測的更新，因此，安全存貨系統的存貨下訂水準也必須進行調整，並根據當期存貨水準與更新後的存貨下訂水準之間的差額 (Q_t) 訂貨，如式 (3.26) 與 (3.27)：

$$OUL' = \mu' + z\sigma' \quad (3.26)$$

$$Q_t = OUL' - IP_t \quad (3.27)$$

第四章 模擬與數據分析



依據第三章所提出之結合貝氏管制圖與追蹤訊號於需求監控之存貨系統，本章節透過程式撰寫建立完整的系統架構與決策法則，並透過模擬不同的需求變化，檢視本研究所提出之存貨管理系統與傳統定期盤存制存貨管理系統在各項績效衡量指標的表現結果。本章各節內容如下：4.1 節說明模擬所使用之軟體與模擬次數，以及欲測試比較系統績效的需求變化型態；而 4.2 節則是說明本研究所提出之存貨管理系統的初始化參數設定與各項系統績效衡量指標；最後，4.3 節則是依據模擬結果進行分析，比較兩系統之間的差異。

4.1 模擬環境之建構與設計

本研究透過電腦模擬不同需求型態的方式，藉此衡量本研究存貨管理系統在不同的需求變化下的績效表現，並與傳統未監控之定期盤存制存貨管理系統比較。本研究利用 R 建構本研究之貝氏管制圖、追蹤訊號與存貨系統，並模擬在四種不同需求變化下，使用貝氏管制圖監控需求變化，並依據資料與異常決策法則，適時調整需求平均之估計與更新貝氏管制圖之管制上下限，使之運用於未來需求變化的監控，同時根據新估計之需求平均與波動度，動態調整存貨下訂水準，進而決定當期的訂購量。本研究每種需求情況皆模擬 300 回合，並計算各項績效衡量指標之平均表現。



(1) 需求量穩定、需求波動穩定

共 52 期，假設每期需求之間獨立，且服從常態分配，其平均數為 1000，標準差為 10。

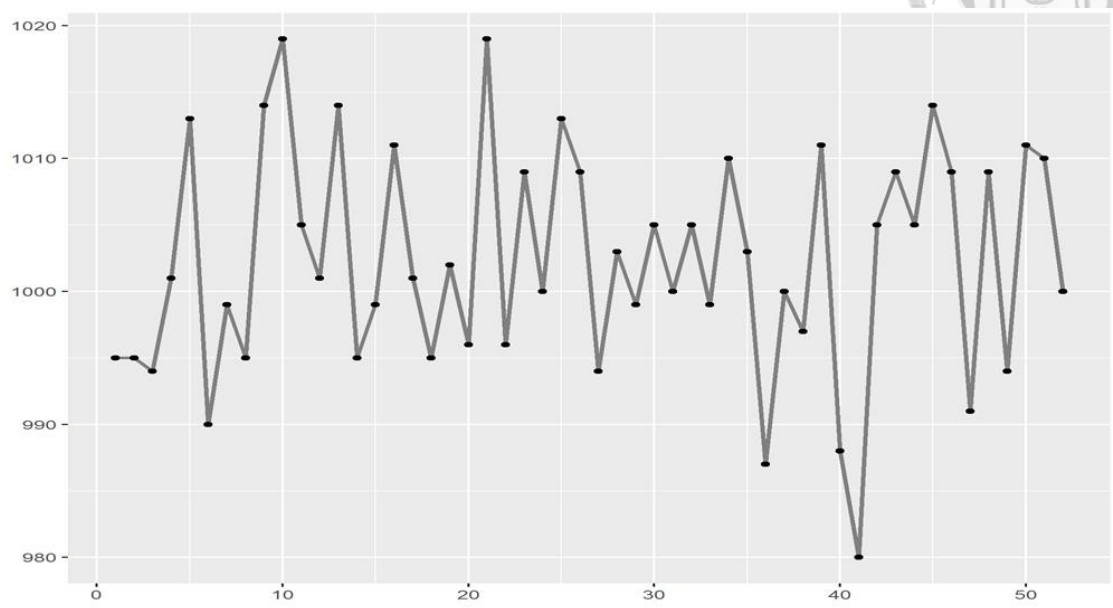


圖 4-1 需求量穩定、需求波動穩定之需求模擬圖

(2) 需求量穩定、需求波動變大

共 52 期，假設每期需求之間獨立，且服從常態分配，每期平均數皆為 1000。第 1 期到第 26 期的標準差為 10；第 27 期到第 52 期的標準差為 15。

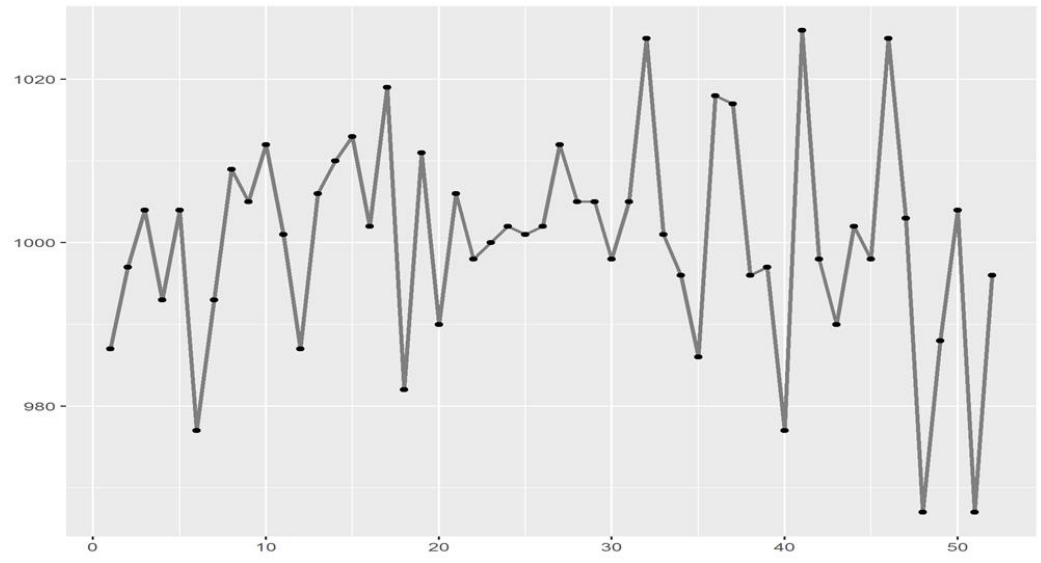


圖 4-2 需求量穩定、需求波動變大之需求模擬圖



(3) 需求量遞增、需求波動穩定

共 52 期，假設每期需求之間獨立，且服從常態分配。第 1 期到第 13 期的平均數為 1000；第 14 期到第 26 期的平均數為 1025；在第 27 期到第 39 期的平均數為 1050；在第 40 期到第 52 期的平均數為 1075。每期標準差皆為 10。

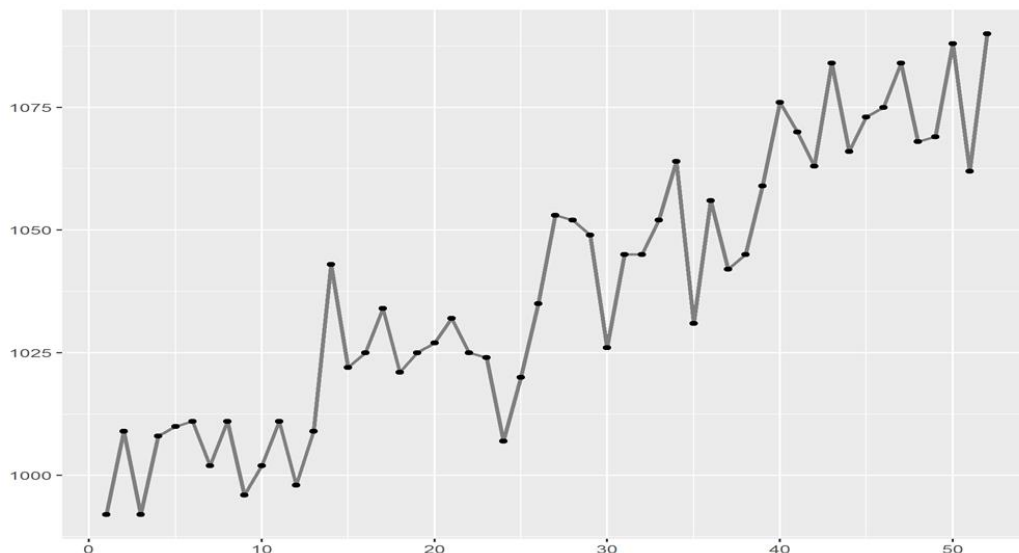


圖 4-3 需求量遞增、需求波動穩定之需求模擬圖

(4) 需求量遞增、需求波動變大

共 52 期，假設每期需求之間獨立，且服從常態分配。第 1 期到第 13 期的平均數為 1000，標準差為 10，第 14 期到第 26 期的平均數為 1025，標準差為 10；在第 27 期到第 39 期的平均數為 1050，標準差為 15；第 40 期到第 52 期的平均數為 1075，標準差為 15。

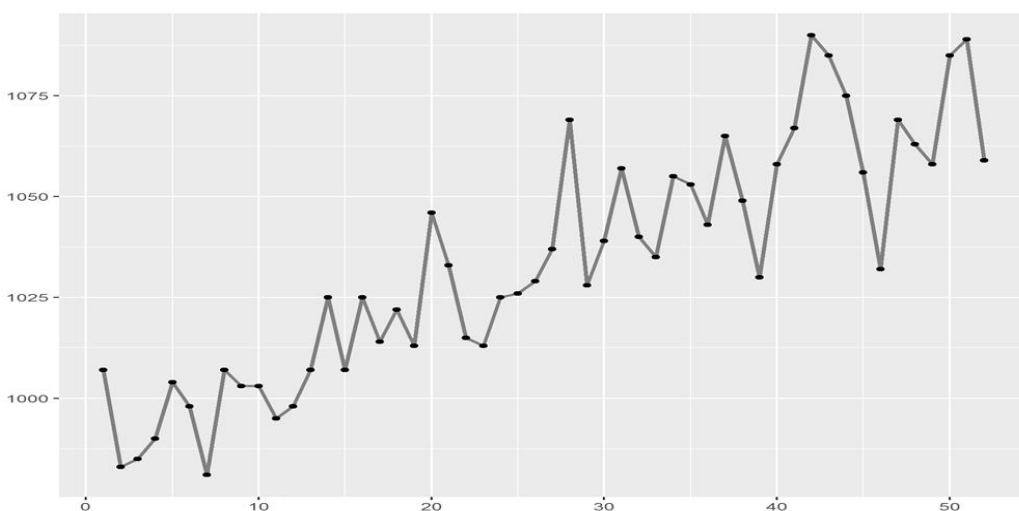


圖 4-4 需求量遞增、需求波動變大之需求模擬圖



4.2 模擬參數設定與績效衡量指標

4.2.1 參數設定

(1) 貝氏管制圖與追蹤訊號之參數設定

根據模擬需求的設定與欲達到的服務水準，進行系統的初始化。表 4-1 為本研究所提出之存貨管理系統在初始化時的各項參數設定值：

表 4 - 1 各項參數初始設定值

參數	n	z	γ	μ_0	λ_0	α_0	β_0	σ_0	δ
設定值	3	1.645	0.99	1000	1	2	100	10	2

(2) 成本設定

本研究所提出之存貨管理系統將與定期盤存制存貨系統進行比較，兩種存貨系統的需求模擬假設皆相同，並參考 Khouja & Stylianou (2009) 等人進行存貨模擬時所採用之零售商成本資訊，作為本研究之各項成本參數的設定。表 4-2 為本研究各項成本參數設定。

表 4 - 2 Khouja & Stylianou (2009) 所採用的零售商成本資訊

參數	值	單位
單位成本	\$5.00	元/個
持有成本	\$1.20	元/個 (年)
缺貨成本	\$1.00	元/個



4.2.2 績效指標

本研究為綜合衡量存貨系統之績效表現，採用不同測量指標來進行系統評估，其中包括平均庫存量、缺貨期數、服務水準、缺貨成本、庫存成本與總成本等六項指標，並以此六項指標衡量存貨系統之表現優劣。

1. 平均庫存量：為 52 期中，每訂購周期缺貨之平均庫存量。公式如 (4.1) 所示：

$$\text{平均庫存量} = \left(\frac{\text{總庫存量}}{\text{總訂購次數}} \right) / 2 \quad (4.1)$$

2. 缺貨數量：為 52 期中系統出現之缺貨總數量。
3. 服務水準：一般定義為在指定日期當天交貨滿足顧客需求的能力，換而言之，就是指在承諾的日期當天或之前完成交貨的百分比 (Simchi-Levi et al., 1999)，本研究公式如下：

$$\text{服務水準(SL)} = 1 - \frac{\text{發生缺貨之期數}}{\text{總模擬期數}} \quad (4.2)$$

4. 缺貨成本：為 52 期中，每期缺貨數量與每單位缺貨成本相乘之金額加總。
5. 庫存成本：為 52 期中，每期存貨數量與每單位庫存成本相乘之金額加總。
6. 總成本：因本研究假設為兩種系統都為每期訂貨模式且每次訂貨成本固定，故在進行系統之間的總成本比較時，不考慮訂貨成本。因此，總成本為缺貨成本與庫存成本相加，其公式如下：

$$\text{總成本} = \text{缺貨成本} + \text{庫存成本} \quad (4.3)$$



4.3 模擬結果分析

(1) 需求平均穩定、需求波動穩定

下表 4-3 為本研究模擬比較貝氏管制圖需求監控存貨系統與定期盤存制存貨系統在各績效指標的表現：

表 4-3 在需求量穩定、需求波動穩定之下各績效指標表現

	平均庫存量	累計缺貨數量	服務水準	庫存成本	缺貨成本	總成本
貝氏管制圖	8.07	12.75	0.9374	492.3148	12.7500	505.0648
定期盤存制	17.53	12.12	0.9395	493.2408	12.1167	505.3574

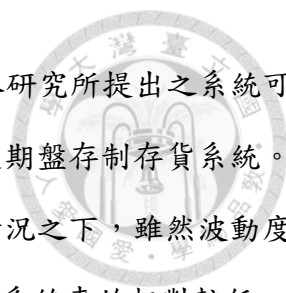
由表 4-3 可知，本研究所提出之系統的平均庫存量雖只有定期盤存制存貨系統的 54%，但在缺貨數量、服務水準及總成本等指標的表現上的差異並不明顯，可知在需求量穩定、需求波動穩定的情況之下，本研究所提出之系統比定期盤存制之存貨系統可維持較低的存貨水準，但是透過需求的監控，使得缺貨的數量並未大幅增加，可維持與定期盤存制存貨系統差異不大的服務水準。

(2) 需求平均穩定、需求波動變大

下表 4-4 為本研究模擬比較貝氏管制圖需求監控存貨系統與定期盤存制存貨系統在各績效指標的表現：

表 4-4 在需求量穩定、需求波動變大之下各績效指標表現

	平均庫存量	累計缺貨數量	服務水準	庫存成本	缺貨成本	總成本
貝氏管制圖	8.17	44.93	0.8797	497.3923	44.9300	542.3223
定期盤存制	17.84	34.34	0.8962	501.2567	34.3367	535.5934



由表 4-4 可知，因為需求量穩定、需求波動變大的情況之下，本研究所提出之系統可能對於需求變化過於敏感，導致缺貨數量與服務水準的表現上略遜於定期盤存制存貨系統。而定期盤存制存貨系統則是維持穩定的訂貨數量，因此在需求穩定的情況之下，雖然波動度變大，但對其造成的影響並不明顯，也使得總成本比起本研究所提出之系統來的相對較低。

(3) 需求平均遞增、需求波動穩定

下表 4-5 為本研究模擬比較貝氏管制圖需求監控存貨系統與定期盤存制存貨系統在各績效指標的表現：

表 4-5 在需求量遞增、需求波動穩定之下各績效指標表現

	平均庫存量	累計缺貨數量	服務水準	庫存成本	缺貨成本	總成本
貝氏管制圖	2.84	488.41	0.4139	274.3744	488.4100	762.7844
定期盤存制	11.68	1336.32	0.2785	230.4541	1336.3233	1566.7774

由表 4-5 可知，本研究所提出之系統的存貨水準平均而言雖比定期盤存制存貨系統略低，但缺貨數量只有定期盤存制存貨系統的 63%、總成本則只有 51%，且服務水準增加了約 1.5 倍。可知在此需求平均遞增且需求量波動穩定的情況之下，本研究所提出之系統可以有效的根據需求之變化採取最佳的存貨訂購策略，使其可維持在相較高的服務水準之下，同時大幅降低成本。

(4) 需求平均遞增、需求波動變大

下表 4-6 為本研究模擬比較貝氏管制圖需求監控存貨系統與定期盤存制之存貨系統在各績效指標的表現：

表 4-6 在需求量遞增、需求波動變大之下各績效指標表現

	平均庫存量	累計缺貨數量	服務水準	庫存成本	缺貨成本	總成本
貝氏管制圖	3.12	501.52	0.4533	280.1496	501.5200	781.6696
定期盤存制	11.68	1346.23	0.2800	226.6842	1346.2300	1572.9142

由表 4-6 可知，本研究所提出之系統的平均庫存量雖比定期盤存制存貨系統略低，但缺貨數量只有定期盤存制存貨系統的 63%、服務水準增加了約 1.6 倍，同時總成本節省了 50% 左右。可知在需求平均遞增且需求波動大的情況之下，本研究所提出之系統可以有效的根據需求之變化採取更佳的存貨訂購策略，使其可在維持相對較高的服務水準之下，同時大幅降低成本。

第五章 結論與建議



本章將針對第四章所探討之模擬分析結果，做出結論與建議。5.1 節將描述本研究之結論與建議；5.2 節則說明本研究對於應用管制圖於存貨管理系統之貢獻；在 5.3 節列舉出本研究存在的相關限制，並且在 5.4 節提出未來可以再進行延伸探討的方向。

5.1 研究結論

存貨管理對於供應鏈而言一直是十分重要的議題，過去已經有許多學者提出各種方法與模型來改善供應鏈的效率與降低存貨成本。而近年來科技的進步日新月異，使得各種資訊更加透明、傳遞更加快速，使得市場競爭越發激烈，企業透過蒐集到的即時資料，幫助其更快速敏捷的反應市場狀況，降低成本。本研究結合貝氏管制圖與追蹤訊號於需求監控存貨管理系統，並透過模擬不同需求變化的方式，分析此系統與傳統定期盤存制存貨系統之差異。本研究得到以下結論：

本研究所提出的需求監控存貨管理系統在需求穩定的情況之下，與傳統定期盤存制存貨系統在總成本上的表現沒有顯著差異，而當需求的波動變大時，會導致總成本微微上升，但可以發現本研究之庫存水準都遠低於傳統的定期盤存制存貨管理的情況之下，可知本研究所提之系統可以有效的監控需求變化，減少不必要的庫存，適合用於成本較高的產品。此外，當需求遞增時，本研究提出之系統比傳統的定期盤存制存貨管理系統不僅減少了約一半左右的成本，同時可以提供較高的服務水準，適合用於需求狀況不明或快速變化的情境之中，降低存貨成本。



5.2 研究貢獻

1. 過去文獻多探討頻率學派的管制圖與存貨管理結合，本研究首先提出貝氏管制圖與追蹤訊號用於需求監控的概念，改善存貨管理之績效表現，填補了過去在存貨管理領域上之研究缺口，提供更好且不同以往的方法與模型來解決存貨管理的問題。
2. 本研究透過模擬不同的需求變化，檢視本研究所提出之系統所適用之情境，幫助企業可以根據其產品特性、消費者行為及市場需求變化不同之下，適當的應用本系統來改善存貨管理之效率與效能，降低企業營運成本，增加競爭力。

5.3 研究限制

在建置存貨管理系統時需考慮市場需求變化、前置時間、成本、倉庫容量、倉儲地點分佈、數量折扣等限制，且會因為企業於供應鏈的階層及角色不同或產品本身特性（如：易腐性），導致適合的存貨管理系統也有所差異。本研究所提出之需求監控存貨管理系統限制與模擬之產業特性有以下幾點：

1. 本研究只探討貝氏管制圖應用於定期盤存制存貨管理系統，未考慮貝氏管制圖與連續盤存制存貨系統之結合模式。
2. 本研究假設訂貨之後可以立即送達，但在實務上訂貨通常都會存在前置時間，在此情況之下，系統需要再考慮前置時間的長短或波動對監控系統表現之影響。
3. 本研究假設訂購量多寡並不影響訂購成本故忽略不計，但實務上每單位需求的訂購成本可能會因單次訂購量的多寡而有數量折扣。
4. 本研究假設為缺貨可補的模式，未考慮有可能是銷售損失(lost sale)的情形。
5. 假設需求彼此之間是獨立的，但某些產品的需求量可能會有自我相關性或容易受季節性影響。
6. 本研究模擬之需求特性與存貨管理政策較像服飾零售業，訂貨週期約為一週。



5.4 未來研究方向

基於 5.3 節所描述的研究限制，本節針對本研究的模型假設及其他能更深入探討與延伸之相關議題，進行未來研究方向的討論：

1. 應用貝氏管制圖於連續盤存制存貨系統，即時更新再訂購點，並可考慮引進西方電器法則作為異常值偵測的標準，提高系統對於需求微小波動的敏感度。
2. 考慮前置時間存在且服從某種分配之情況，並探討此情況之下，前置時間波動與需求波動同時對於存貨系統的影響。
3. 本研究所提之模型只監控需求變化，並且根據此變化決定存貨下訂水準與訂購量，未來可以應用貝氏管制圖之概念於監控存貨水準變化，並在同時考慮需求與存貨水準變化下，決定存貨下訂水準與訂購量。
4. 根據不同產品特性或存在銷售損失的狀況之下，設定不同的成本參數，並且調整貝氏管制圖的管制上下限大小或追蹤訊號大小等參數，進而增加或降低需求異常偵測的敏感度。可進行重要參數的敏感度分析，找到系統更明確的適用情境。
5. Cheng & Chou (2008) 考慮在產品生命週期(product life cycle)的不同階段(上市期、成長期、成熟期與衰退期)，需求量會有不同的變化方式；簡秀芸 (2009)則加入需求的上下波動與季節性變化，故未來可以考慮應用貝氏管制圖監控更多不一樣的需求變化，與過去文獻所提之模型進行比較，衡量其績效表現。

參考文獻



中文文獻：

詹易整 (2000)，應用統計製程管制方法於存貨管理系統之研究，國立成功大學工業管理研究所碩士論文。

葉卓華 (2003)，應用管制圖於存貨管理之研究，國立雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。

王皓翔 (2004)，應用 MCEWMA 管制圖於存貨管理之研究，國立雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。

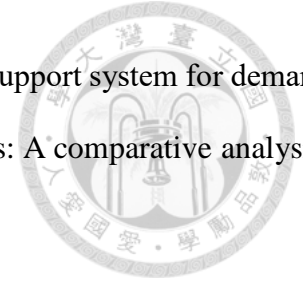
簡秀雲 (2009)，應用趨勢管制圖於存貨管理之研究，國立雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。

霍正傑 (2010)，應用累積和管制圖於存貨管理之研究，國立雲林科技大學工業工程與管理研究所碩士論文。



英文文獻：

- Aburto, Luis, & Weber, Richard. (2007). Improved supply chain management based on hybrid demand forecasts. *Applied Soft Computing*, 7(1), 136-144.
- Aggarwal, Sumer C. (1974). A review of current inventory theory and its applications. *International Journal of Production Research*, 12(4), 443-482.
- Alon, Ilan, Qi, Min, & Sadowski, Robert J. (2001). Forecasting aggregate retail sales: a comparison of artificial neural networks and traditional methods. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 8(3), 147-156.
- Carbonneau, Real, Laframboise, Kevin, & Vahidov, Rustam. (2008). Application of machine learning techniques for supply chain demand forecasting. *European Journal of Operational Research*, 184(3), 1140-1154.
- Cheng, Jui-Chang, & Chou, Chao-Yu. (2008). A real-time inventory decision system using Western Electric run rules and ARMA control chart. *Expert Systems with Applications*, 35(3), 755-761.
- Costantino, Francesco, Giulio, Di Gravio, Giulio, Shaban, Ahmed, & Tronci, Massimo. (2015). A real-time SPC inventory replenishment system to improve supply chain performances. *Expert Systems with Applications*, 42(3), 1665-1683.
- Crowder, S. V., Hawkins, D. M., Reynolds Jr, M. R., & Yashchin, E. (1997). Process control and statistical inference. *Journal of Quality Technology*, 29(2), 134.



Efendigil, Tuğba, Önüt, Semih, & Kahraman, Cengiz. (2009). A decision support system for demand forecasting with artificial neural networks and neuro-fuzzy models: A comparative analysis. *Expert Systems with Applications*, 36(3), 6697-6707.

Harris, FW. (1915). What quantity to make at once. *The library of factory management*, 5, 47-52.

Jiang, Wei, Kwok-Leung Tsui, & William H. Woodall. (2000). A new SPC monitoring method: The ARMA chart. *Technometrics*, 42(4), 399-410.

Khouja, Moutaz, & Antonis C. Stylianou. (2009). A (Q, R) inventory model with a drop-shipping option for e-business. *Omega*, 37(4), 896-908.

Lee, H. T., & Wu, J. C. (2006). A study on inventory replenishment policies in a two-echelon supply chain system. *Computers & Industrial Engineering*, 51(2), 257-263.

MacCarthy, B. L., & Thananya Wasusri. (2002). A review of non-standard applications of statistical process control (SPC) charts. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 19(3), 295-320.

Pfohl, Hans-Christian, Cullmann, Oliver, & Stolze, Wolfgang. (1999). Inventory management with statistical process control: Simulation and evaluation. *Journal of Business Logistics*, 20(1), 101.

Silver, Edward A. (1981). Operations research in inventory management: A review and critique. *Operations Research*, 29(4), 628-645.



- Simchi-Levi, David, Edith Simchi-Levi, & Philip Kaminsky. (1999). *Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and cases*. New York: McGraw-Hill.
- Stoumbos, Z. G., Reynolds Jr, M. R., Ryan, T. P., & Woodall, W. H. (2000). The state of statistical process control as we proceed into the 21st century. *Journal of the American Statistical Association*, 95(451), 992-998.
- Watts, Charles A, Hahn, Chan K, & Sohn, Byung-Kyu. (1994). Monitoring the performance of a reorder point system: A control chart approach. *International Journal of Operations & Production Management*, 14(2), 51-61.
- Western Electric Statistical Quality Control Handbook*, (1956). Indianapolis, IN, USA: Western Electric Co..
- Woodward, Philip W, & Naylor, John C. (1993). An application to Bayesian methods in SPC. *The Statistician*, 461-469.
- Woodall, William H., & Douglas C. Montgomery. (1999). Research issues and ideas in statistical process control. *Journal of Quality Technology*, 31(4), 376.
- Wu, X., Miao, R., Zhang, X., Jiang, Z., & Chu, X. (2015). A conjugate Bayesian approach to control chart for multi-batch and low volume production. *International Journal of Production Research*, 53(7), 2179-2185.