



北京大学

硕士研究生学位论文

题目： 实时区块链实名交易监督系统
的设计与实现

姓 名： _____

学 号： _____ 1601210903

院 系： _____

专 业： _____

研究方向： _____

导 师： _____

二〇一八年六月

版权声明

任何收存和保管本论文各种版本的单位和个人，未经本论文作者同意，不得将本论文转借他人，亦不得随意复制、抄录、拍照或以任何方式传播。否则一旦引起有碍作者著作权之问题，将可能承担法律责任。

摘要

比特幣是一個集成網絡學、密碼學、貨幣銀行學並以區塊鏈為基礎的加密貨幣。有別於其他加密貨幣的是比特幣特有的去中心化與匿名化。區塊鏈技術雖能保有交易信息的透明性與交易數據的不可變動性，但也因為其匿名之特性存在著三項問題。第一，在比特幣交易系統中，沒有落實實名制，造成流動資金的不透明性。其次，現今的國家並無支持以比特幣交易相關的支付系統或是制定出相關的稅務標準，使得政府無法從加密貨幣這方面的金融交易獲得稅收。第三，現有的比特幣交易模型皆為匿名與匿名之間的交易，並無開立收據，亦無法保障消費者權益。

本論文設計與實現一個比特幣的實時交易監督系統-BRTMS，論文工作包括分析五種交易模型，發現由匿名顧客支付給實名商家的交易監督可同時實踐保障消費者權益、保護顧客隱私以及使政府可以課徵稅收。由需求分析將系統模塊劃分為用戶註冊與登入、產品管理、職工管理、商家交易管理，以及顧客交易管理五種模塊，同時採用Java 編程語言和比特幣開源錢包，以五種模塊為基礎實現主要系統，以及商家和商品信息管理、移動裝置收款及交易、客戶端移動支付和交易三個子系統，並且為解決區塊鏈交易速度緩慢問題引入多重簽章算法構建實時監督系統。實現系統後，對本系統進行功能測試，且對原始監督系統與有多重簽章演算法支援的實時監督系統進行性能測試與分析。比特幣通過本系統的實時交易監督，當顧客使用移動裝置客戶端可擁有詳細的交易明細，也保障了消費者權益；藉由商家和商品信息管理子系統，讓商家可以容易進行商品管理及庫存管理；在政府端實現多重簽章算法，讓商家可避免雙重支付攻擊，且大幅減少交易確認時間，更能使政府主管機關有效獲得稅收。

关键词：比特币，区块链，多重签章算法

Design and Implementation of Real-time Blockchain Real-name Transaction Monitoring System

Chen Po Wei (Data Mining and Business Intelligence)

Directed by Prof. Lijie, Lecturer Liujing

ABSTRACT

Bitcoin is a blockchain-based cryptocurrency that integrates networking, cryptography, and money banking. Unlike other cryptocurrencies, Bitcoin has unique decentralization and anonymization. Its applied blockchain technology can preserve the transparency of transaction information and the irreversibility of transaction data, but it also has three problems because of its anonymous nature. First, Identifying users in Bitcoin trading has not been implemented. Therefore, it results in the opaqueness of transaction liquidity. Second, current countries don't support the cryptocurrency payment systems for the Bitcoin, or formulate relevant tax standards, making it impossible for the government to obtain tax revenues from cryptocurrency transactions. Third, the existing Bitcoin transaction models are all based on anonymity. There are no receipts and even the protection of consumer right.

This thesis designs and implements a Bitcoin real-time transaction monitoring system-BRTMS. The research activities of this thesis include analysis of five trading models , finding the supervision of transactions between the anonymous customers and the real-name businesses, in that way can simultaneously protect consumer right, customer privacy, and enable the government to collect taxes. From the system requirements analysis, the system is divided into five modules: user registration and login, product management, employee management, merchant transaction management, and customer transaction management. Besides, the Java programming language and Bitcoin open source wallet are applied to realize the main system based on the five modules, as well as the three subsystems including store and merchandise information management subsystem ,store mobile payment collection and transaction subsystem, client mobile payment and transaction subsystem. Furthermore, to solve the problem of slow blockchain transactions, multiple signatures algorithm is introduced to build the real-time monitoring system. After the implement of the system, the functional testing is conducted. Then, the performance testing and analysis between the original supervisory system and the

real-time supervisory system with multiple signatures algorithm are performed. With these evaluation results from the system, Bitcoin can let the customers know more detailed information of transaction when using the mobile device subsystem. It can also protect the consumer right. Meanwhile, the store mobile payment collection and transaction subsystem can help businesses easier to carry out commodity management and inventory management; Implementing multiple signatures algorithm on the government side prevents businesses from double-spending attacks and drastically reduces the time required in transactions. Finally, the system can even enables government agencies to effectively obtain tax revenues.

KEYWORDS: Bitcoin, Blockchain, Multiple signatures algorithm

目录

| | |
|-------------------------------|-----------|
| 第一章 绪论 | 1 |
| 1.1 選題背景 | 1 |
| 1.2 研究目標與內容 | 10 |
| 1.3 論文組織結構 | 11 |
| 第二章 相關理論與技術 | 13 |
| 2.1 比特幣地址 | 14 |
| 2.2 區塊鏈 | 24 |
| 第三章 系統需求分析 | 27 |
| 3.1 交易模型分析 | 27 |
| 3.2 功能性需求分析 | 31 |
| 3.3 非功能性需求分析 | 34 |
| 第四章 系統概要設計 | 37 |
| 4.1 BTMS 架構與運作流程 | 39 |
| 4.2 實時 BTMS 架構與運作流程 | 42 |
| 第五章 系統詳細設計與實現 | 45 |
| 5.1 BTMS 數據庫設計 | 45 |
| 5.2 系統模塊設計 | 47 |
| 5.3 系統實現 | 61 |
| 第六章 系統測試 | 65 |
| 6.1 功能測試 | 65 |
| 6.2 性能測試 | 74 |
| 第七章 总结与展望 | 81 |
| 参考文献 | 83 |
| 致谢 | 87 |
| 北京大学学位论文原创性声明和使用授权说明 | 89 |

图目录

| | |
|--|----|
| 图 1.1 2017 年 1 月 21 日到 2018 年 1 月 21 日期間加密貨幣總市值走勢圖 ^[10] | 2 |
| 图 1.2 2013 年 2018 年間比特幣總市值 K 線圖 ^[10] | 3 |
| 图 1.3 Bitcoin、Western Union ^[16] 、PayPal ^[17] 以及 VISA 每秒支持交易量比較圖 ^[18] | 5 |
| 图 1.4 比特幣區塊鏈成長走勢圖 ^[19] | 6 |
| 图 1.5 Darklaunder 洗錢模型 ^[25] | 7 |
| 图 2.1 截至 2018 年 2 月 17 日止, 比特幣全節點分佈圖 ^[29] | 14 |
| 图 2.2 LBC 翁舉比特幣私鑰算力狀態圖 ^[33] | 15 |
| 图 2.3 區塊疊加示意圖 | 19 |
| 图 2.4 比特幣地址生成流程圖 | 21 |
| 图 2.5 Green Address 錢包生成流程圖 | 24 |
| 图 2.6 Green Address 交易發起流程圖 | 25 |
| 图 2.7 比特幣區塊鏈結構圖 | 25 |
| 图 2.8 Merkle Tree 示意圖 | 26 |
| 图 3.1 特性要因分析圖 | 27 |
| 图 3.2 各種交易模型示意圖 | 28 |
| 图 3.3 系統用例圖 | 33 |
| 图 4.1 BTMS 系統功能模塊圖 | 37 |
| 图 4.2 商家端建置與管理商品資訊子系統功能模塊圖 | 38 |
| 图 4.3 商家端行動收銀與交易明細系統功能模塊圖 | 38 |
| 图 4.4 顧客端行動支付與交易明細系統功能模塊圖 | 39 |
| 图 4.5 BTMS 和商家註冊流程架構圖 | 40 |
| 图 4.6 BTMS 的整體架構與功能示意圖 | 41 |
| 图 4.7 基於 Government Green Address 的 BRTMS 整體示意圖 | 43 |
| 图 5.1 BTMS 數據庫實體關係圖 | 45 |
| 图 5.2 用戶註冊與登入模塊類圖 | 48 |
| 图 5.3 職工與商家註冊時序圖 | 48 |

| | |
|---|----|
| 图 5.4 商家產品管理類圖 | 50 |
| 图 5.5 商家產品管理時序圖 | 51 |
| 图 5.6 職工管理模塊類圖 | 52 |
| 图 5.7 商家職工管理時序圖 | 53 |
| 图 5.8 商家交易管理模塊類圖 | 55 |
| 图 5.9 商家交易管理時序圖 | 56 |
| 图 5.10 商家 Government Green Address 交易管理模塊類圖 | 57 |
| 图 5.11 顧客交易管理模塊類圖 | 59 |
| 图 5.12 顧客交易管理時序圖 | 60 |
| 图 5.13 顧客 Government Green Address 交易管理模塊類圖 | 62 |
| 图 5.14 SMIMSS 的 Java 應用程序的註冊和登錄界面 | 62 |
| 图 5.15 在 SMIMSS 中插入或更新授權商家的產品目錄 | 63 |
| 图 5.16 登錄、等待結帳的商品、刪除商品及支付確認 | 63 |
| 图 5.17 在 CMPTSS App 中，交易確認，付款確認、交易歷史記錄和發票 . | 64 |
| 图 6.1 集成子系統測試 | 67 |
| 图 6.2 BTMS 使用者用例圖 | 67 |
| 图 6.3 验收测试（Acceptance Testing） | 68 |
| 图 6.4 使用區塊鏈瀏覽器驗證存儲在比特幣區塊鏈中的交易過程 | 74 |

表目录

| | |
|---|----|
| 表 1.1 各國政府對比特幣態度統整表 | 9 |
| 表 2.1 比特幣系統的相關參數簡介 | 13 |
| 表 2.2 ECC 與 RSA 相同安全等級的密鑰對生成時間比較表 ^[49] | 16 |
| 表 2.3 算法 BLISS、RSA、ECDSA 安全級數比較圖表 ^[50] | 17 |
| 表 2.4 MD5、SHA-0、SHA-1、SHA-2 和 SHA-3 比較表 | 18 |
| 表 2.5 Base58 編碼表 | 20 |
| 表 2.6 Base64 編碼表 | 21 |
| 表 3.1 交易關係比較表 | 31 |
| 表 3.2 環境需求表 | 35 |
| 表 5.1 商家信息表 | 46 |
| 表 5.2 產品信息表 | 46 |
| 表 5.3 交易信息表 | 46 |
| 表 5.4 用戶信息表 | 47 |
| 表 5.5 職工信息表 | 47 |
| 表 5.6 商家產品信息表 | 47 |
| 表 6.1 小米 3 手機規格 | 66 |
| 表 6.2 Google Nexus 5X 手機規格 | 66 |
| 表 6.3 IT1 測試用例 | 68 |
| 表 6.4 IT2 測試用例 | 69 |
| 表 6.5 IT3 測試用例 | 70 |
| 表 6.6 AT1 測試用例 | 70 |
| 表 6.7 AT2 測試用例 | 71 |
| 表 6.8 AT3 測試用例 | 71 |
| 表 6.9 集成子系統測試結果 | 72 |
| 表 6.10 驗收測試結果 | 73 |
| 表 6.11 子系統與測試用例關係表 | 73 |
| 表 6.12 需求與集成測試用例的關係表 | 73 |

| | |
|---|----|
| 表 6.13 需求與驗收測試案例的關係表 | 74 |
| 表 6.14 第一次 Testnet 執行實驗之數據分析 (2017 年 9 月 6 日) | 75 |
| 表 6.15 第二次 Testnet 執行實驗數據 (2018 年 3 月 21 日) | 76 |
| 表 6.16 第二次以 Testnet 執行實驗數據分析 (2018 年 3 月 21 日) | 76 |
| 表 6.17 初步的 Government Green Address 實驗測試數據 (2017 年 7 月 25 日) | 77 |
| 表 6.18 第一次以 Government Green Address 執行實驗之數據分析 (2017 年 9 月 6 日) | 77 |
| 表 6.19 第二次以 Government Green Address 執行實驗數據 (2018 年 3 月 21 日) | 78 |
| 表 6.20 第二次以 Government Green Address 執行實驗之數據分析 (2018 年 3 月 21 日) | 78 |
| 表 6.21 原始系統與實時系統比較表 | 79 |

第一章 緒論

現金法定貨幣，收據及交易數據庫存在著一些缺點。如現金很難杜絕假鈔的橫行，收據有著偽造的可能，在交易數據庫中信息不一致，數據庫被 DDOS 攻擊，交易數據被竄改，數據庫損毀，都是在傳統交易過程中曾出現過的窘境。

於 2009 年加密貨幣 - 比特幣的問世，以密碼學、網絡學與貨幣銀行學為基礎創建了新一代的網絡貨幣。各式網絡貨幣中又以比特幣最為廣泛使用，其防堵被竄改、公開交易數據檢視、使用者具匿名性、自動運作不須人為運營等等多項特性深受現今使用者喜愛。至今區塊鏈技術已成為 IBM、摩根大通、微軟、谷歌與英特爾等重點開發項目，被視為改善銀行運作效率、降低運營成本、提升信息安全、建立公開數據的最佳方法。為解決現金、收益及交易數據庫存在之問題，本文採用以區塊鏈為基礎的加密貨幣比特幣為基礎，進行商業化收銀系統開發。不僅是基於比特幣算法穩定、交易公開透明、不可被竄改等特性，同時本論文更加入監督標籤，促使在匿名交易轉為部分實名交易之過程中，監管部門能有更好的新興貨幣技術的提升，亦可建立自動化的稅務審查機制，大幅降低人事成本，進而實現提升交易系統信息之可靠度與其穩定性。

1.1 選題背景

追溯著加密貨幣市場的演進，於 2009 年時，比特幣並非第一個加密貨幣，在比特幣之前已經有著很多類似的加密貨幣開發實驗，但是一直無法做出一個穩定點對點式的電子現金系統，關於其製作瓶頸之部分將於後段章節闡述。在比特幣穩定發展之後，有著許多對比特幣有興趣的研究者，以穩定的比特幣系統為基礎修改了許多基本的協議。於 2011 年相繼創造出了貨幣，將其稱之為山寨幣。山寨幣早期較為著名包括有萊特幣 (Litecoin, LTC)^[1]、狗幣 (Dogecoin, DOGE)^[2]、域名幣 (Namecoin, NMC)^[3]，於 2014 年也有人認為比特幣挖礦使用到了大量的哈希運算，這樣的大量運算也浪費了許多的社會資源，進而開發出較具意義的工作量證明挖礦算法，其中較為著名的如素數幣 (Primecoin, XPM)^[4]。於 2015 年底也誕生了現在最為著名的以太坊經典 (Ethereum Classic, ETC)^[5]、以太坊 (Ethereum, ETH)^[6]，以太坊最重大突破設計在於將編程語言虛擬機移植到了區塊鏈架構上，這使得區塊鏈技術不再僅止於點對點的電子現金系統，也創造出了屬於以太坊的編程語言 Solidity^[7]，使以太坊在虛擬機 (Ethereum Virtual Machine, EVM)^[8] 中可以使用 Solidity 創建智能合約，合約可以建構去中心化的應用程序，如去中心化的交易所，將交易所去中心化可以有效的防治 DDOS 攻擊^[9]，降低交

交易所因為黑客攻擊而倒閉的可能性。

1.1.1 加密貨幣市場

加密貨幣中最具代表性的是比特幣，但除了比特幣之外也存在許多模仿比特幣的加密貨幣，有的是為其利益，有的是鑒於比特幣的各種不足，進而希望藉由其他貨幣改善比特幣不夠完美之處。加密貨幣市場中有成千上萬種的加密貨幣，其中較廣為人知的加密貨幣會在 Cryptocurrency Market Capitalizations^[10] 的排行榜中出現，截至 2018 年 2 月 8 日該排行榜已經收入了 1510 種加密貨幣。在 Cryptocurrency Market Capitalizations 統計的數據當中，可知整體的加密貨幣市場，如圖 1.1 所示，於 2018 年 1 月 7 日創下了歷史新高，加密貨幣市場的總市值也高達了 829,579,000,000 美金，相當於五兆人民幣的總市值。



图 1.1 2017 年 1 月 21 日到 2018 年 1 月 21 日期間加密貨幣總市值走勢圖^[10]

經由 Cryptocurrency Market Capitalizations 數據顯示，整體加密貨幣市場自 2013 年起已經高達 150 億美金，2014 年與 2015 年間總市值減少到近乎 2013 年的一半。針對比特幣的價格波動，論文 "Have the security flaws surrounding Bitcoin effected the currency's value?."^[11] 作出詳盡的市場調研，致力於探討在各個比特幣市場大事件中對比特幣價格的波動影響，針對影響的程度該論文給出影響指數，當中影響最為嚴重的是於 2014 年 2 月發生的日本交易所 Mt.Gox 倒閉事件，因為早期的加密貨幣市場中無完善的法律規範，各國對加密貨幣的接受度有所不同，日本對金融科技的接受度相較於較為開放的情況下成立了全世界第一家比特幣交易所 Mt.Gox，也因為交易所不夠普及，使得大部分的加密貨幣交易都集中在 Mt.Gox 交易所中，使 Mt.Gox 倒閉事件成為震盪市場價格重大因子之一，也造成 2014 與 2015 年的加密貨幣市場低迷。而在 2017 年，比特幣又以 2016 年總市值之 35 倍的姿態攀上新高點，主要是因為美國最大的期權交易中心芝

加哥期權交易所（Chicago Board Options Exchange, CBOE）於 2017 年 12 月 10 日宣布支持比特幣期貨交易，此舉將比特幣價格推升到 20,000 美金的歷史新高，圖 1.2 為 2013 年至 2018 年歷年的加密貨幣總市值的統計圖表。



图 1.2 2013 年 2018 年間比特幣總市值 K 線圖^[10]

1.1.2 加密貨幣的優勢

於 2009 年 Satoshi Nakamoto 發布了比特幣系統，成為全世界第一個加密貨幣的雛形。其透明的交易信息、區塊鏈交易數據無法修改和刪除、匿名與自治系統等特性，促使區塊鏈技術衝破現存傳統中心化之金融機構技術上的藩籬。以下將逐一說明加密貨幣的七項優點，分別為區塊鏈結算系統不間斷的運行、遠距離支付、貨幣為使用者持有、開放和透明的交易信息、區塊鏈交易數據無法修改和刪除、交易匿名性以及自治性系統。

第一，區塊鏈結算系統不間斷的運行。基於區塊鏈技術與點對點網絡的架構，以比特幣為例，自 2009 年至今，所有的比特幣交易事件皆會存儲在比特幣區塊鏈當中，區塊鏈既無法刪除也無法修改，比特幣區塊鏈會以點對點網絡的方式存儲在比特幣網絡中的全節點^[12]，目前比特幣網絡中的全節點高達 10552 個。與傳統中心化的銀行數據庫相比，可能會因為銀行的服務器維護，導致交易無法順利進行，甚至可能有黑客的入侵導致銀行或是個人資產有重大的損失。點對點網絡提供穩定的數據庫元數據，不

會因為數據庫的停機而無法繼續使用，實現其 24 小時不間斷之運作。

第二，基於點對點網路架構完成遠距離支付。於跨國匯款從美國轉帳至中國一百萬美金的場景中，需要經過的手續較為繁瑣，資金有可能需要經過多個國家才可以抵達目的地，在經過各個國家的過程中，需要支付各國的手續費，也需要等待各個國家辦理該業務的時間，即使當資金順利抵達了目的地銀行，目的地銀行也需要花將近三至五日的工作日確認該筆金額的來源。屆時領款人亦需要前往銀行核實完整的身份驗證、解釋資金用途，才得以領取這筆跨國資金。比特幣系統當中，有著 24 小時不間斷運作的優點，也因為點對點網路架構，使得比特幣無需經由傳統金融機構繁瑣的步驟完成國際匯款，於比特幣系統中無系統壅塞的情況下，平均 10 分鐘即可入帳，實現其短時間內即可完成遠距離支付之運作。

第三，加密貨幣為使用者持有。傳統的金融體系中，資金的存儲、流動往往需要經過銀行，使用者將所有的資產存入銀行，拿到的是一串數字的銀行餘額，銀行是一個中心化的機構，有著最高的權利。中央社的新聞^[13]指出，臺灣各地於 2017 年接連於土地銀行、日盛銀行、彰化銀行、京城銀行、兆豐銀行皆傳出銀行行員監守自盜的行為，總金額高達一億三千萬新臺幣。在比特幣系統中，比特幣有如金幣般存放在個人的比特幣地址當中，使用者為真實持有著貨幣，即使是比特幣系統亦無權利動用該筆比特幣資產，唯有比特幣地址的私鑰持有者，才可以轉移該筆比特幣地址中的比特幣資產。

第四，公開的交易信息。基於區塊鏈架構，所有的交易信息皆以公開的方式存儲於區塊鏈中，並且可信任與方便的取得元數據，以下將針對可信任與元數據進行探討。

1. 可信任：在公有鏈的基本架構上，所有的交易記錄都是公開透明的存儲在區塊鏈當中，比特幣網絡的使用者都可以檢視該筆交易，所有人都可以檢查每個交易記錄的正確性，公開的交易信息亦提升交易數據之可信性。
2. 元數據：除了以區塊鏈技術為基礎建構出可信任的系統之外，開放和透明的特性讓更多的開發商或新公司得以更容易獲得交易的元數據。畢竟，在傳統金融體系中，所有交易記錄均由中央金融機構存儲，從中央金融機構提取原始交易信息並不容易，區塊鏈的開放性和透明性促使金融公司降低了獲取原始數據努力的門檻。公司或學者可以透過元數據制定出可視化的開發計畫，甚至可以運用大量數據來分析前所未達的新價值觀點。

第五，區塊鏈交易數據無法修改和刪除。在區塊鏈結構中，通過嚴格驗證的所有信息都記錄在區塊鏈中，且使用者及系統平台都不賦與刪除及修改之權限。根據區塊鏈的特點，舊區塊的哈希值在連接區塊鏈的過程中，舊區塊的哈希值會被存儲在新區塊。只要區塊中的值被修改，即使僅有 1 bit 的變化，也會產出完全不同的哈希值，這也就是所謂的雪崩效應（Avalanche effect）^[14]。由於上述結構特性，區塊鏈中所有的信

息都會被系統紀錄且都不會被改變，倘若區塊中記載的比特幣交易在其中一個比特幣全節點驗證的結果被竄改，則該區塊將不被比特幣系統接受。因此，所有已經存儲在區塊鏈中的交易記錄將不能被修改和刪除，進而實現其架構安全之穩固。

第六，區塊鏈系統中所有的使用者皆為匿名。現今社會中，個人信息保護已成為企業最重要的課題。在區塊鏈系統中創建的所有帳戶都不會與真實世界中的實體建立直接關聯，也因為沒直接關聯所以建立匿名。區塊鏈系統中的所有帳戶都是由匿名個體創建，匿名的設計可以有效保護消費者的隱私。然而，VISA 交易與比特幣系統截然不同，在使用 VISA 支付系統前，使用者必須向 VISA 公司的主機提交大量個人信息，這可能會產生個人信息洩露的風險。在區塊鏈技術中，其匿名之特性可以有效地避免這個問題。

第七，自治系統。在區塊鏈系統中，區塊鏈的運作依賴於一些算法，包括共識算法。因此，在這種自治系統中，沒有人（例如節點或礦工）可以直接改變系統運作的規則。如果在比特幣系統中發現需要更正的嚴重錯誤，可以使用比特幣改進提案（Bitcoin Improvement Proposals, BIP）^[15] 升級比特幣系統。在實施比特幣改進提案之前，提議的比特幣改進提案需要得到比特幣系統中超過一定數量的礦工算力支持。由於這種以投票機制升級系統的門檻相當高，使得區塊鏈系統通常不會有大的變化，因為變化不大也突顯其相對穩定性。

1.1.3 加密貨幣的劣勢

在區塊鏈技術中，有著三項瓶頸，分別為每秒處理的交易量（Transactions Per Second, TPS）僅為七筆的限制、洗錢防治困難、低可擴展性，以下將逐一探討。

第一，每秒處理的交易量上限僅為 7 筆。圖1.3為國際上較為廣泛使用的支付系統之每秒支持交易量比較圖，以 VISA 為例，其以公司中心化運營的方式可以支持高達每秒 2,000 筆交易。但是以區塊鏈技術為基礎的比特幣最大能夠接受的每秒處理交易量僅為 7 筆。一般認為只要提升區塊大小的限制，就可以提升每秒處理的交易量。提升每秒處理交易量的同時將產生下述的兩項問題，分別為區塊鏈成長速度過快造成節點崩潰以及區塊同步延遲造成區塊鏈分岔：



图 1.3 Bitcoin、Western Union^[16]、PayPal^[17] 以及 VISA 每秒支持交易量比較圖^[18]

图 1.4 比特币区块链成长走势图^[19]

1. 區塊鏈成長速度過快造成節點崩潰。區塊鍊成長速度過快會造成去比特幣全節點不堪負荷：從 2009 年至今的比特幣區塊鏈大小已達到 156GB，這樣的成長速度因為比特幣區塊大小的最大值被設置為 1MB。圖 1.4 為過去比特區塊鏈大小，圖中可以發現，於 2016 年開始，比特幣區塊鏈的成長速度為一直線，這表示著比特幣網絡中持續維持在供不應求的狀況。為解決比特幣每秒支持交易量上限的窘迫，現今對比特幣的每秒處理交易量有許多優化的方案，其中包括解除比特幣區塊大小 1MB 的限制。在一個區塊上限為 1MB 的限制下，滿載的比特幣系統中，比特幣區塊鏈平均每十分鐘會增 1MB，每小時會增加 6MB，每天會增加 144MB，每月會增加 4.2GB，每年會增加高達 50GB，要達到 1TB 的區塊鏈大小還需要 8 年，在 8 年後的未來存儲 1TB 的數據量應該不會有太大的負擔。倘若解除 1MB 的區塊限制，在系統的每秒處理交易量看似可以接受更多的交易成倍成長，面臨 1TB 的比特幣區塊鏈數據會在更短的時間內出現，倘若存儲區塊鏈的成本超過了摩爾定律的成長曲線，會進一步造成使用者自願成為比特幣全節點的意願度降低，使得比特幣網絡的全節點數變少，導致比特幣點對點網絡逐漸轉向中心化網絡發展，失去一開始點對點網絡的意義。
2. 造成區塊鏈最新區塊同步延遲而使區塊鏈分岔。對於區塊鏈的區塊同步延遲同時也會造成比特幣網絡的影響，J. Göbel 於“Increased block size and Bitcoin blockchain dynamics”^[20] 有著詳細的研究，在上修區塊大小上限的議題上，使用者因系統占用量提高，自願成為比特幣全節點意願度下降，此舉可能對比特幣點對點網絡建

構出的區塊鏈同步上造成延遲，在 1055 個比特幣全節點當中，平均每十分鐘會有礦工於其中一個全節點生成一個最新的區塊，該最新的區塊會以點對點網絡協議同步到其他 1054 個節點上。在比特幣系統中，長年來的過程經驗可以發現在礦工生成 1MB 的區塊後同步到全網節點可以在創造下一個區塊之前完成。倘若將區塊大小修改為 2MB 或是更大，會使得比特幣全節點的最新區塊同步延遲現象更加明顯，同步延遲會使得區塊鏈分岔，造成 1055 個比特幣全節點的信息不一致，近一步造成整個比特幣點對點網絡崩潰。

第二，洗錢防治困難。匿名性為比特幣系統一大特色，比特幣的地址生成的熵是 256 bits，亂數是在 2^{256} 的組態空間中隨機選取，這樣的地址與現實生活中的身份並無任何關聯，使得黑市交易、洗錢防治變的困難，甚至有更為前沿的加密貨幣 Monero^[21] 導入了環簽章 (Ring Signature)^[22] 算法、Zcash^[23] 導入零知識證明算法^[24]，使得原本公開透明的區塊鏈，變得無法檢視，進而造成加密貨幣在洗錢防治上更加的困難。2017 年由 Thibault de Balthasar and Julio Hernandez-Castro 所提出的論文 "An Analysis of Bitcoin Laundry Services."^[25]，致力探究比特幣匿名交易下的資金流動模型，試圖以機械學習的方法找出比特幣洗錢模型作為洗錢的工具，圖 1.5 為該論文針對黑市交易中的洗錢服務運營商 Darklaunder 進行洗錢機械學習識別有著傑出的成果。

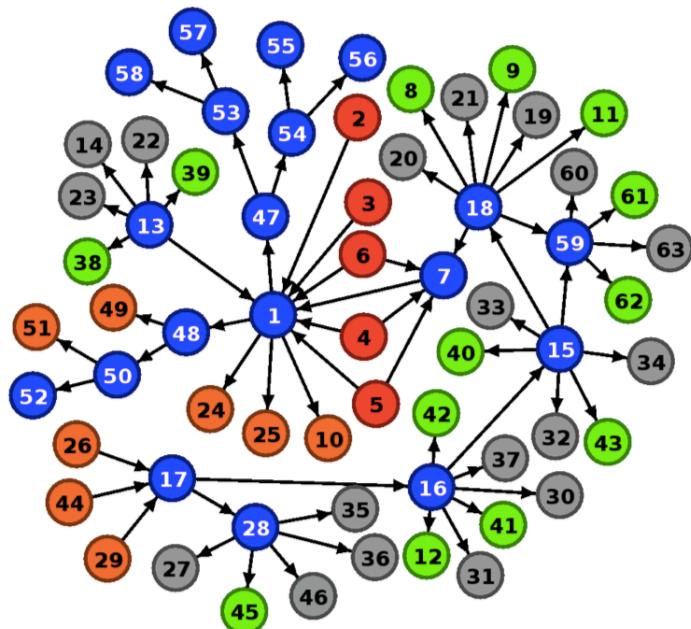


图 1.5 Darklaunder 洗錢模型^[25]

第三，低可擴展性。區塊鏈架構為了防止各式的攻擊，所以在架構訂定以及接口設計都有著嚴謹的規範。以下將闡述造成比特幣低可擴展性的原因：

1. 修改比特幣協議製作添加外部信息的區塊鏈：比特幣區塊鏈技術是一個嚴謹的架

構，倘若要創造可以支持外部信息的結構需要重新創造全新的加密貨幣，大部分的加密貨幣不支持外部輸入，由於外部的信息輸入無法保證其信息的正確性，近一步造成垃圾進垃圾出（Garbage In, Garbage Out, GIGO）的問題，倘若錯誤的信息存儲在無法刪除、修改的區塊鏈下，只是強化該筆錯誤信息的錯誤。如食品履歷區塊鏈，致力於將食品生產到超市的過程逐一記錄在區塊鏈上，但如果一開始在輸入信息時，無法保證其信息之正確性，則該食品履歷區塊鏈則毫無意義，錯誤的信息內容甚至可能使該錯誤被強化。

2. 於區塊頭或交易信息添加外部信息：比特幣區塊鏈上，可以添加一些信息於區塊上，該信息會永久保存於區塊鏈上，除了在區塊上新增信息，在比特幣單筆交易信息上，亦可填寫一些私人信息，但這樣的空間大小有限，且現今的比特幣價格日趨上漲，比特幣交易手續費是以單筆交易大小計算，這將使得在交易中添加些個人信息變得更加昂貴。

在比特幣系統中，其區塊鏈僅用於記錄交易記錄，不能擴展更多功能和應用程序。有很多開發者希望將比特幣系統擴展到智能合約等其他應用程序。但是，後來發現改變原始比特幣系統框架是具有挑戰性的工作。因此，全球第二大加密貨幣以太坊（Ethereum, ETH）的作者 Vitalik 選擇了創建了以太坊虛擬機（Ethereum Virtual Machine, EVM），而非改變原始的比特幣系統框架。以太坊虛擬機所創建的智能合約可以在統一的以太坊平臺上運行，而以太坊也藉此突破了比特幣之技術瓶頸。

1.1.4 國際情勢分析

比特幣是一種全新的價值交換的媒介，因為區塊鏈技術相當新穎，在各個國家所秉持的態度皆有所不同，大致可將個國家對比特幣的政策分為兩大類，分別為接納與禁止；在接納加密貨幣的分類當中又分為歡迎、放任以及監管。

在歡迎、放任的政策下的國家包括伊朗、以色列、法國、美國、沙特阿拉伯王國、烏克蘭以及新加坡，上述國家政策上皆已抱持著開放且不監管的方式接納加密貨幣，這些國家認為加密貨幣對於國家金融科技的發展具有前景；在分類於接納但是實施監管的國家中，包括韓國、菲律賓、英國、馬來西亞、俄羅斯、日本以及香港地區皆認為加密貨幣技術可能存在的高風險，且針對加密貨幣的洗錢防制以及非法集資進行嚴格管理，也進一步制定相關的法律，使得國家可以應對新型加密貨幣的糾紛；在禁止加密貨幣的分類中包括辛巴威、摩洛哥、印尼以及中國，這些國家認為比特幣是一個非法的貨幣，因為涉及到洗錢問題、難以實施外匯管制。但是對於區塊鏈技術層面上之探討，在所有國家中都是以蓬勃發展的正面態度看待。上述各國政府對比特幣態度如表1.1：

表 1.1 各國政府對比特幣態度統整表

| 序號 | 國家 | 接納 | | 禁止 |
|----|-------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| | | 歡迎/放任 | 監管 | |
| 1 | 伊朗 | 監管得當歡迎 比特幣發展 | | |
| 2 | 以色列 | 歡迎：欲發展 國際 ICO 中心 | | |
| 3 | 法國 | 放任：與實體 經濟無關 | | |
| 4 | 美國 | 暫不構成威脅 | | |
| 5 | 新加坡 | 不監管但注意 周邊活動 | | |
| 6 | 沙特阿拉 伯王國 | 加密貨幣尚未 成熟，不監管 | | |
| 7 | 烏克蘭 | 不屬於貨幣 | | |
| 8 | 韓國 | | 很快將監管 交易所 | |
| 9 | 菲律賓 | | 計劃監管 ICO | |
| 10 | 英國 | | 考慮監管 | |
| 11 | 馬來西亞 | | 正規化監管框架 | |
| 12 | 俄羅斯 | | 2018 年 7 月前 完成立法 | |
| 13 | 日本 | | 任命加密貨幣 監察長 | |
| 14 | 香港 | | ICO 須受法規監管 | |
| 15 | 辛巴威 | | | 定法前，屬非法 |
| 16 | 摩洛哥 | | | 禁止加密貨幣交易 |
| 17 | 印尼 | | | 2018 年前 全面禁止 |
| 18 | 中國 | | | 禁止加密貨幣 |

1.2 研究目標與內容

比特幣在各個國家的蓬勃發展且應用在相當多的領域，應用的領域包括交易所、去中心化交易所、兌幣所、遊戲點數、網路購物、資產的保存、募資以及遠距離支付，甚至是各國的銀行和金融機構都逐步投入人力及資金研究區塊鏈相關技術，甚至是訂定各國相關的法律。在比特幣資產的流動上存在著許多的問題，第一，比特幣的帳戶是由亂數產生器生成，該比特幣帳戶與在現實生活中的使用者並無直接關聯，使得比特幣洗錢變更加盛行。第二，現今的比特幣交易皆為匿名對匿名支付，並無正式的收據開立，使得消費者在購物後，倘若商品存在問題，無法得到法律上的保障。第三，因為比特幣是匿名支付給匿名的交易，使得政府無法從交易行為中進一步課徵稅收，滯礙國家經濟發展。

本文將解決上述三項問題，設計與實現一個比特幣的實時交易實時監督系統達到下列幾點目標：

1. 導入匿名顧客支付給實名商家的交易模型到加密貨幣交易系統。
2. 設計與實現在加密貨幣交易中匿名顧客支付給實名商家的交易監督系統；
3. 於政府端導入多重簽章算法，使比特幣的实时交易監督系統比透過 Green Address 機構驗證更加快速。
4. 利用多重簽章算法的機制可以讓商家預防比特幣雙重支付的攻擊。
5. 商家和商品信息管理子系統讓商家可進行庫存管理及商家商品管理。
6. 實現於加密貨幣交易中，消費者匿保持匿名同時也保障消費者權益。
7. 透過對商家進行實名制，比特幣的交易監督系統讓政府主管機關可以有效獲得稅收。

為實現上述目標，本文首先將詳細探討區塊鏈技術的優勢，藉由深度了解區塊鏈技術的優勢可以取之優點，如區塊鏈是一個不間斷、不可竄改、去中心化、公開數據庫、穩定的系統。第二，探討區塊鏈技術的劣勢，區塊鏈技術並非完美，存在著洗錢、逃漏稅、無法保障消費者權益以及交易速度慢的問題，藉由瞭解問題，並設計系統解決。第三，交易模型分析，透過交易模型分析探討在現金、電子貨幣以及加密貨幣存在的交易模型，並在諸多交易模型中發現，匿名支付給實名的交易行為，可以保障消費者隱私，同時保障消費者權益，更使得政府可以對商家的營收進行檢視。第四，系統設計，完成交易分析，並著手設計數據庫模型。第五，系統詳細設計與實現，利用 Java 編程語言實現主系統以及三個子系統。第六，系統優化，引入比特幣的多重簽章算法，實現比特幣的實時交易監督系統。第七，功能測試，測試以 Java 編寫程序所有的功能是否能夠完整運作。第八，性能測試，測試在未進行優化的系統與已經優化的系統兩者之間效能的差異。

1.3 論文組織結構

在本節中將逐一說明本論文的組織結構共分為七章，分別為緒論、相關理論與技術、系統需求分析、系統概要設計、系統實現、系統測試以及總結與展望：

第一章：簡述區塊鏈技術解決現有數據庫存在的信息不一致、信息安全問題以及數據庫損毀問題。說明在加密貨幣市場中不僅只是比特幣，亦有許多新穎技術為特色的貨幣競爭。簡要探討區塊鏈技術的優點，逐一探討比特幣的缺點及區塊鏈技術瓶頸。最後於研究目標與內容當中，闡述本文的待解決問題以及解決方法。

第二章：介紹比特幣的發展，闡述比特幣地址生成運用到的算法、生成過程以及多重簽章算法。並詳細說明區塊鏈結構及所有欄位變數與區塊鏈相關的意義。

第三章：首先對五種交易模型進行分析，進而得知匿名對實名的交易，既可以保障消費隱私且兼具保有消費者權益，並透過需求分析探討本系統需構建的功能模塊。

第四章：概要設計比特幣交易監督系統的架構，以及說明三個子系統的模塊功能。設計本系統的數據庫結構，設計 ER 實體聯繫模型 (Entity-relationship model)，並闡述本系統的運作流程。最後則將多重簽章算法引入本系統，使得本系統成為比特幣的實時交易監督系統。

第五章：詳細設計商家和商品信息管理子系統、商家移動裝置收款及交易子系統以及客戶端移動支付和交易子系統的介面。

第六章：透過功能測試逐一檢視所有功能是否能夠正常運行，經由性能測試分析原始系統與優化後的系統效能之間的差異。

第七章：說明比特幣區塊鏈系統透過本文所提出之系統，可以達到保障消費者權益同時也兼顧保有顧客隱私，也使得政府可以透過該系統檢視交易明細課徵稅收，而商家亦可對庫存及產品進行管理，達到三贏的局面。

第二章 相關理論與技術

比特幣（Bitcoin, BTC）是一個點對點式的電子現金系統，集成了非對稱式金鑰密碼學（Asymmetric Key Cryptography）^[26]、簽章密碼學（Signature Cryptography）^[27]、零知識證明密碼學（Zero Knowledge Proof Cryptography）^[24]、哈希函數密碼學（Hash Function Cryptography）、共識算法（Consensus Algorithm）^[28] 諸多技術建構而成一個分散式、不需要仰賴中心化機構加以維護的交易帳本，表2.1是比特幣系統的相關參數簡介。在接下來的章節中將逐一進行詳盡的說明每個技術在各個環節中所扮演的角色。

表 2.1 比特幣系統的相關參數簡介

| | |
|--------------|-----------------------|
| 第一個區塊生成時間 | 2009 年 1 月 3 日 |
| 比特幣預計總產量 | 21,000,000 BTC |
| 比特幣目前總產量 | 16,921,800 BTC |
| 最新區塊高度 | 513743 塊 |
| 比特幣總市值 | 5 兆人民幣 |
| 比特幣全節點的數量 | 10552 個 |
| 單日比特幣交易金額 | 124,017.02430718 BTC |
| 單日交易筆數 | 196,606 筆 |
| 比特幣區塊鏈大小 | 188.89 GB |
| 平均區塊大小 | 0.75 MB |
| 平均生成單一區塊所需時間 | 9.67 分鐘 |
| 單日產出比特幣數量 | 1,775 BTC |
| 挖礦難易度參數 | 3,290,605,988,755 |
| 全網挖礦算力 | 23,555,075.18 THash/s |

去中心化的加密貨幣系統給社會和傳統中心化的金融體系以及政府帶來了重大的衝擊，Satoshi Nakamoto 建構了一個不需要經過中央銀行發行貨幣的貨幣系統，在比特幣的貨幣發行上全靠區塊鏈既定的算法。除了貨幣發行，也將交易記錄的帳本以明文的方式存儲在去中心化的區塊鏈中，以比特幣為例，現今完整的比特幣區塊鏈帳本已經高達 180GB，這樣保存完整交易數據的計算機稱之為全節點，在比特幣去中心化的網絡中，如圖2.1所示，截至 2018 年 1 月 25 比特幣網絡中全節點數量為 10552 個^[29]，全節點的數量決定了比特幣帳本的可靠度，越多的全節點數量越能鞏固比特幣網絡中過去的交易數據，使其難以被竄改。

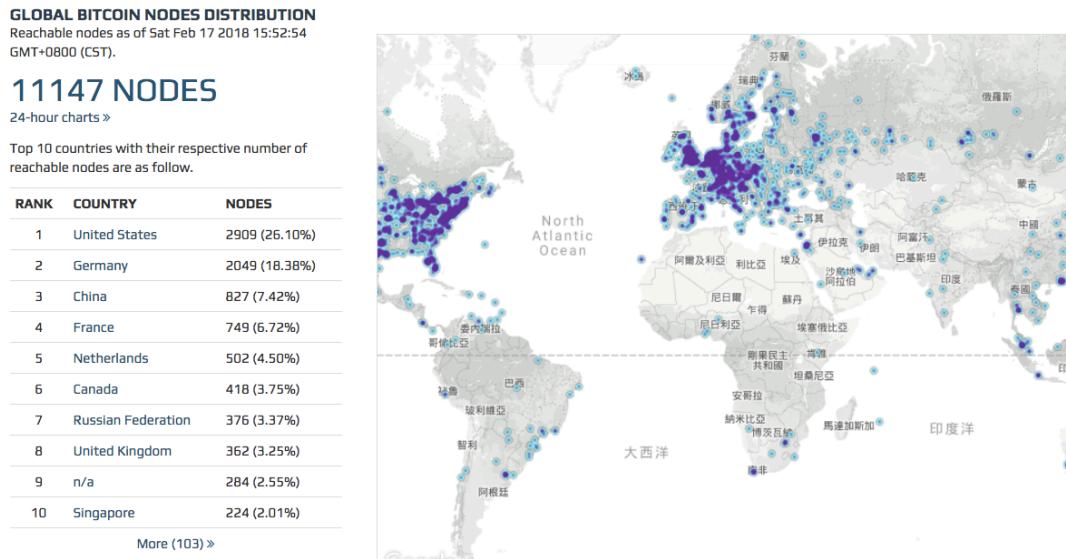


图 2.1 截至 2018 年 2 月 17 日止, 比特幣全節點分佈圖 [29]

2.1 比特幣地址

比特幣地址為比特幣的載體，深入瞭解比特幣的地址生成相關算法、比特幣地址生成過程、多重簽章，可以近一步應用在比特幣的交易監督系統。

在點對點的現金系統中，首先必須先生成一個地址，在比特幣的協議中有著既定的程序生成地址。運用到的技術包括亂數產生器（Random number generator）、非對稱式加密算法 Secp256k1^[30]、哈希算法 SHA-256^[31]、Base58 編碼^[32]。接下來將詳述每一個函數的運作過程以及意義，最後說明比特幣交易地址生成的每一個步驟。

（一）亂數產生器（Random number generator）

亂數在密碼學中是個相當重要的一環，在比特幣系統中更是重要，畢竟生成的亂數會變成比特幣的私鑰，私鑰是加密貨幣中是簽署資產轉移的唯一方式，在比特幣地址中的亂數產生器會產出一個 256 bits 長度的亂數成為私鑰，256 bits 的長度可以表現的組態空間為 2^{256} ，換算成十進位表示為 1.1579209×10^{77} ，要在這組態空間中，以亂數產生同樣的一把私鑰是一件困難的事，但也有國際的實驗室^[33]團隊正在努力的窮舉比特幣 2^{256} 的組態空間，如圖2.2所示，根據 LBC 公佈的數據顯示，目前已經完成了 2.330109×10^{16} 個地址探索。雖然 10^{16} 的級別與 10^{77} 的級別相距甚遠，但 LBC 已探索的組態空間中擊中了 15 個比特幣地址，該團隊也成功將這 15 個地址下的 1.180899 個比特幣轉走。

如何建構一個亂數，在過往的亂數產生器往往會加入時間作為參數，但對於一個攻擊者而言，只需要去猜測在這段時間內目標者所有生成的可能性有極高的機率可猜

2018-01-31 12:32:48

24h Pool Performance: 1588.74 Mkeys/s

图 2.2 LBC 翁舉比特幣私鑰算力狀態圖^[33]

出亂數。而亂數在密碼學中常會是一把私鑰的生成，在 HTTPS 協議中，服務器端與客戶端建立一個加密連線的過程中，也需要一個亂數去建立高安全性的加密通道-傳輸層安全性協定 Transport Layer Security, TLS)^[34]，在 SSH 協議^[35] 中也採用了亂數。

於 2013 年 8 月比特幣開發者 Mike Hearn 於論文“*All private keys generated on Android phones/tablets are weak and some signatures have been observed to have colliding R values*”^[36] 中提及在過去的歷史事件中，發現 Android 手機版以及平板版的亂數產生器中存在著不隨機，在不同的手機裝置中有機會生成同樣的私鑰。Bitcoin.org 也發布了警告^[37] 簡要說明該亂數不隨機事件的原因，以及表明受到該事件影響的比特幣錢包客戶端包含有 Bitcoin Wallet、BitcoinSpinner、Mycelium Bitcoin Wallet、blockchain.info。這樣的錯誤源於 Android 本身支持的亂數產生器並不隨機，隨後 Android 解釋了亂數的問題並加以修正。在這 Android 手機亂數不夠亂的事件中，有自願者自發性地公佈自己的損失狀態，總金額為 55.82152538 個比特幣^[38]，但因為比特幣屬於被動的性質，無人主動回報即不會加入統計中，所以總損失估計會超過 55.82152538 個比特幣。

(二) 非對稱式加密算法 Secp256k1

在密碼學中有分對稱式加密與非對稱式加密，對稱式加密又分為信息流加密與信息塊加密，信息流加密著名的是由美國密碼學家 Ron Rivest 教授發表，包括 RC2 (1987 年)^[39]、RC4 (1987 年)^[40]、RC5 (1994 年)^[41]、RC6 (1998 年)^[42]；信息塊加密著名的有數據加密標準 (Data Encryption Standard, DES, 1975 年)^[43]、三重數據加密算法 (Triple Data Encryption Algorithm, Triple DES, 1998 年)^[44]、高級加密標準 (Advanced Encryption Standard, AES, 1998 年)^[45]；非對稱式加密最廣為人知的有 RSA (Rivest – Shamir – Adleman, 1977 年)^[46]、橢圓曲線密碼學 (Elliptic curve cryptography, ECC, 1985 年)^[47]。非對稱式加密與對稱式加密最大的不同，在於對稱式加密在加密解密的過程中只需要

一把鑰匙，而非對稱式加密會生成兩把鑰匙，分別為私鑰與公鑰，在算法的設計上一開始會以亂數產生一把私鑰，再經由非對稱式加密算法推導出公鑰，推導出的公鑰在非對稱式密碼學中並無直接的方法可以反推至私鑰，如此一來確立私鑰的安全性。非對稱式密碼的使用場景有兩種，第一種是希望收到加密信息的使用者 Alice，Alice 會生成私鑰存儲在自己本地端的電腦中，並將推導出的公鑰公佈在網絡上，這時希望聯繫 Alice 的使用者 Bob 在網絡上取得公鑰後，Bob 會以 Alice 的公鑰進行加密，之後將密文寄送給 Alice，在傳遞信息的過程中，即使網絡存在著監聽，也無法將信息順利解密，唯有 Alice 收到信息後使用 Alice 原本產生該公鑰的私鑰，才可以解出明文。第二種則應用在比特幣的交易之數字簽名以及交易驗證交易，比特幣地址的創建過程中會透過 secp256k1 生成私鑰公鑰對，在創建比特幣交易的過程中，使用該地址的私鑰對該地址未花費的輸出（Unspent Transaction Output，UTXO）^[48] 進行數字簽名，完成數字簽名後會與公鑰以及交易信息一起廣播到比特幣網絡的交易緩存池當中，比特幣交易緩存池存在於所有比特幣全節點當中，主要存儲所有未被收錄到比特幣區塊鏈內的所有交易，也就是零確認交易，等待礦工將該筆交易收入至比特幣區塊鏈當中。比特幣採用的 secp256k1 是屬於橢圓曲線密碼學中的一個版本，不同的橢圓曲線版本的差異在於不同的初始參數，包括橢圓曲線方程式

$$y^2 = x^3 + ax + b$$

$p=FFFFFFF\ldots FFFFFFC2F$ 為巨大的素數、G 點被稱為生成點的常數點亦稱為基點。至於為什麼選擇 ECC 而非 RSA 的主要原因，其一在於 ECC 在生成密鑰對所需的時間更加快速，根據表2.2顯示，Nicholas Jansma 於 2004 年針對 ECC 與 RSA 的密鑰對生成時間與數字簽名所需時間的論文^[49] 顯示，當 ECC 產生 571 bits 的密鑰長度，要達到相同安全等級的情形下，RSA 則需要生成 15360 bits，這也讓兩種非對稱式的加密方式之間，生成的時間產生了高達 471 倍之差距。

表 2.2 ECC 與 RSA 相同安全等級的密鑰對生成時間比較表^[49]

| 密钥长度 bits | | 时间 (秒) | |
|-----------|-------|--------|--------|
| ECC | RSA | ECC | RSA |
| 163 | 1024 | 0.08 | 0.16 |
| 33 | 2240 | 0.18 | 7.47 |
| 283 | 3072 | 0.27 | 9.8 |
| 409 | 7680 | 0.64 | 133.9 |
| 571 | 15360 | 1.44 | 679.06 |

除了在密鑰對生成時間 ECC 有著比 RSA 更高效的算法外，在安全性上 ECC 可以更短的密鑰長度達到與 RSA 相同的安全強度，LDucas 針對 ECC、RSA、BLISS (Bimodal Lattice Signature Scheme)^[50] 做出了深度的安全性探討^[50]，表2.3同樣達到 80 bits 的安全性級數，RSA 1024 需要 1024 bits，ECDSA 160^[51] 僅需要 160 bits，該篇論文除了探討 RSA 與 ECDSA (Elliptic Curve Digital Signature Algorithm) 之外，更大的部分在闡述量子計算機對於既有的傳統密碼帶來的抨擊，有機會快速窮舉 2^{256} 的比特幣私鑰，在未來量子計算機的蓬勃發展擁有 2000 qbits 運算能力，量子計算機可以快速窮舉破解所有的比特幣私鑰。因此發展針對量子計算機設計的數字簽名算法成為密碼學上嶄新的議題，而 BLISS 則為針對量子計算機所設計的抗量子計算的簽章算法。

表 2.3 算法 BLISS、RSA、ECDSA 安全級數比較圖表^[50]

| 算法 | 安全性 | 簽名大小 | 私鑰大小 | 公鑰大小 | 簽名(微秒) | 簽名/秒 | 驗證(微秒) | 驗證/秒 |
|-----------|-------------|--------|--------|--------|--------|------|--------|------|
| BLISS-0 | <=60bits | 3.3kb | 1.5kb | 3.3kb | 0.241 | 4k | 0.017 | 59k |
| BLISS-I | 128bits | 5.6kb | 2kb | 7kb | 0.124 | 8k | 0.03 | 33k |
| BLISS-II | 128bits | 5kb | 2kb | 7kb | 0.48 | 2k | 0.03 | 33k |
| BLISS-III | 160bits | 6kb | 3kb | 7kb | 0.203 | 5k | 0.031 | 32k |
| BLISS-IV | 192bits | 6.5kb | 3kb | 7kb | 0.375 | 2.5k | 0.032 | 31k |
| RSA-1024 | 72-80bits | 1kb | 1kb | 1kb | 0.167 | 6k | 0.004 | 91k |
| RSA-2048 | 103-112bits | 2kb | 2kb | 2kb | 1.18 | 0.8k | 0.038 | 27k |
| RSA-4096 | >128bits | 4kb | 4kb | 4kb | 8.66 | 0.1k | 0.138 | 7.5k |
| ECDSA-160 | 80bits | 0.32kb | 0.16kb | 0.16kb | 0.058 | 17k | 0.205 | 5k |
| ECDSA-256 | 128bits | 0.5kb | 0.25kb | 0.25kb | 0.106 | 9.5k | 0.384 | 2.5k |
| ECDSA-384 | 192bits | 0.75kb | 0.37kb | 0.37kb | 0.195 | 5k | 0.853 | 1k |

(三) 哈希算法 SHA-256

SHA-256 是 SHA (Secure Hash Algorithm, FIPS 182-2)^[31] 哈希算法的家族之一。SHA 家族當中有著四大分支，分別為 SHA-0、SHA-1、SHA-2 和 SHA-3，如表2.4所示。各種哈希算法的差異在於運算初始變數、算法所採用的運算子、接受的信息長度以及迴圈數的不同。上述的參數差異皆由聯邦資訊處理標準 (Federal Information Processing Standards, FIPS) 中定義。表2.4中 MD5 不為 SHA 家族成員之一，但 MD5 為最早被廣泛使用的哈希算法，因此作為借鑑的標準。SHA-0 為 SHA 家族中被最早提出的架構，輸出的長度為 160 bits，而 SHA-1 提出後並無太大的變動。哈希算法的主要功能在於，將信息或是檔案建立一個對一的指紋，也就是哈希值，而該指紋長度會依照算法的設計輸出的長度而略有不同，表2.4中顯示的輸出哈希值長度，而長度也意味著該指紋的組態空間映射的大小。倘若有著不同的輸入，但映射到了相同的指紋，則將此現象稱之為碰撞。通常在信息安全領域中，只要發現該哈希算法存在著碰撞，就會被棄用。甚

至是專家們提早數年提出警告，要求提早更換該哈希算法，並更換上新制定的哈希算法做應用。哈希算法的功能包括藉由生成哈希值進行檔案校驗、工作量證明算法設計以及區塊鏈中的哈希指針。

表 2.4 MD5、SHA-0、SHA-1、SHA-2 和 SHA-3 比較表

| 算法 | 分支 | 輸出 哈希值 長度 (bits) | 最大輸入 信息長度 (bits) | 迴圈 次數 | 使用到的運算子 | 碰撞 攻擊 (bits) | |
|-----------|----------|---------------------------|------------------------|----------|--|--------------------|--|
| MD5 參考 | - | 128 | ∞ | 64 | And, Xor, Rot, Or, Add (mod 2^{32}) | < 64 已碰撞 | |
| SHA-0 | - | 160 | $2^{64} - 1$ | 80 | | < 80 已碰撞 | |
| SHA-1 | - | | | | | < 80 已碰撞 | |
| SHA-2 | SHA-224 | 224 | $2^{64} - 1$ | 64 | And, Xor, Rot, Or, Shr, Add (mod 2^{32}) | 112 | |
| | SHA-256 | 256 | | | | 128 | |
| | SHA-384 | 384 | $2^{128} - 1$ | 80 | | 192 | |
| | SHA-512 | 512 | | | | 256 | |
| SHA-3 | SHA3-224 | 224 | ∞ | 24 | And, Xor, Rot, Not | 112 | |
| | SHA3-256 | 256 | | | | 128 | |
| | SHA3-384 | 384 | | | | 192 | |
| | SHA3-512 | 512 | | | | 256 | |

- 生成哈希值進行檔案校驗：哈希值在過往的應用中，往往作為檔案完整性的校驗，軟件供應者會在網站中提供各式不同算法的哈希值供給使用者下載完軟件之後，使用者將檔案輸入哈希算法中生成出哈希值後進行比對。但倘若該哈希算法存在碰撞的發生，這會使得不同的檔案存在著同樣的哈希值。這也意味著軟體提供平台所提供的軟體可能存在著摻入惡意代碼後，還能生成同樣的哈希指紋，失去了檔案完整性的校驗的功能，這便成為信息安全中的重大漏洞，因此在表2.4中的 **MD5、SHA-0 以及 SHA-1** 皆為已經棄用之算法。
- 工作量證明算法設計：起初工作量證明算法的概念為設計一個相當困難耗時的解，但驗算的過程中卻相當簡單快速。如對一個大數做因式分解是一個相當困難的事，但要驗算其結果僅需要將所有的解相乘確認是否為該大數即可證明。同樣的理念在比特幣系統中是以 hash-puzzle 的方式實現，hash-puzzle 是利用哈希函數有著不可預期的特性，不可預期指的是假設輸入連續性的數值 1 到 n 進入到哈希函數生成哈希值，而生成的哈希值無法觀察出關聯性，可說是完全不相關的數值，且無法預期下個輸入的哈希值輸出。比特幣系統中的困難度變數，在 hash-puzzle 中定義了何謂真正的答案。在 SHA-256 當中輸出的值為 256 bits 的哈希

值，困難度變數則規定了在這 256bit 當中，自最左邊起必須為零的位數的門檻，而在困難度變數要求必須為零的位數變多，則意味著要在連續性的數值 1 到 n 的 hash-puzzle 中，符合門檻的解越少。在 hash-puzzle 中，求得一個符合困難度變數的哈希值是困難的，但要驗算求得的解是否符合困難度的門檻相當快速，這符合起初工作量證明算法的概念。

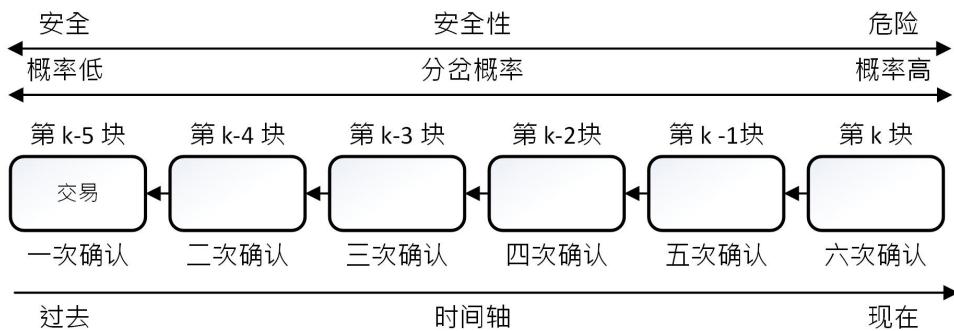


图 2.3 區塊疊加示意圖

3. 區塊鏈中的哈希指針：比特幣區塊鏈的區塊頭當中，當前區塊存儲著前區塊頭的雙重哈希的哈希值。當前區塊則會如資料結構鏈結串列一樣，直到鏈結到第一個比特幣區塊的創世區塊，區塊鏈中的哈希指針將區塊鏈結在一起，也就形成了比特幣區塊鏈的基礎。在比特幣挖礦的過程中，礦工參與著最新區塊的 hash-puzzle 的解題，尋找一個符合困難度變數的輸入。但 hash-puzzle 的工作證明當中解可能不只一個，但只要符合困難度變數的解都可以創建一個新的區塊，屆時就會在當前的區塊上同時產生分岔，分岔的區塊在彼特幣系統中皆為有效，但經過多個區塊的疊加之後，變可以抉擇出最長的鏈，該最長鏈則成為主鏈，而其他的分岔鏈，則成為孤兒塊被丟棄，當中曾記載的交易信息變為無效，造成該分岔鏈的交易信息回溯。比特幣區塊鏈的分岔好發於最新的區塊，如圖2.3所示，而越舊的區塊則越不易發生，所以在比特幣交易中默認該筆交易要在六個區塊確認後，該公司才會承認該筆交易有效。

(四) Base58 編碼

表2.5為 Base58 編碼表，Base58 編碼的首次出現自 Satoshi Nakamoto 所提出的論文^[48] 當中，Base58 編碼是源自於 Base64 編碼表，如表2.6中所示。Base64 編碼中包括大寫英文 26 個字母、小寫英文 26 個字母、阿拉伯數字以及字符"/" 和 "+"。在比特幣地址生成過程中 Base58 的功能是將比特幣地址的公鑰哈希值重新編碼，比特幣地址的公鑰哈希值是二進制的資料型態，既使是將二進制碼轉換成十六進制碼輸出也是對人類辨識上有一定的不便性。倘若採用 Base64 對比特幣公鑰哈希值進行編碼有效縮短二進

制碼的長度，但 Base64 的編碼存在著不適於作為地址的特殊字符 "+" 和 "-"。在 Base58 編碼中移除了特殊字符之外，移除了較不易人類判讀的相關字符數字 "0" 與大寫英文字母 "O"，因為該兩字符在不同字型的體現相當相似，大寫英文字母 "I" 以及小寫英文字母 "l"，在人類判讀上也有些為相似。因此於 Base64 移除上述 6 個字符後，便形成了 Base58 編碼表。值得一提的是，Base58 編碼與 Base64 編碼表中的字符排序有些許異動，Base58 編碼表將數字的部分一致了最前面，這使得比特幣地址以 Base58 編碼後的第一個字符呈現為 "1" 的主要原因。

表 2.5 Base58 編碼表

| 数值 | 字符 | 数值 | 字符 | 数值 | 字符 | 数值 | 字符 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 16 | H | 32 | Z | 48 | q |
| 1 | 2 | 17 | J | 33 | a | 49 | r |
| 2 | 3 | 18 | K | 34 | b | 50 | s |
| 3 | 4 | 19 | L | 35 | c | 51 | t |
| 4 | 5 | 20 | M | 36 | d | 52 | u |
| 5 | 6 | 21 | N | 37 | e | 53 | v |
| 6 | 7 | 22 | P | 38 | f | 54 | w |
| 7 | 8 | 23 | Q | 39 | g | 55 | x |
| 8 | 9 | 24 | R | 40 | h | 56 | y |
| 9 | A | 25 | S | 41 | i | 57 | z |
| 10 | B | 26 | T | 42 | j | | |
| 11 | C | 27 | U | 43 | k | | |
| 12 | D | 28 | V | 44 | m | | |
| 13 | E | 29 | W | 45 | n | | |
| 14 | F | 30 | X | 46 | o | | |
| 15 | G | 31 | Y | 47 | p | | |

於上述章節中已經詳細說明比特幣在地址生成的過程中，使用到的所有的相關算法技術以及算法在現今的比特幣系統中存在的問題，於本節中將闡述如何將比特幣地址生相關算法帶入比特幣地址生成的過程中，地址生成的總共分為八個步驟，分別為生成私鑰、生成公鑰、生成公鑰 SHA-256、生成公鑰 SHA-256 的 RIPEMD-160、取得版本號、校驗碼生成、版本號、公鑰 SHA-256 的 RIPEMD-160 和校驗碼合併，最後一步則是將合併的結果以 Base58 編碼創建出一個比特幣地址。

1. 生成私鑰：使用亂數產生器產生一個長度為 256 bits 的亂數，而此亂數即成為該比特幣地址的私鑰。在比特幣的系統當中，私鑰可以透過橢圓曲線簽章算法 secp256k1 簽名一筆交易，廣播治比特幣網路當中。因為私鑰為該地址資金轉移的關鍵，黑客攻擊的對象皆會聚焦在比特幣私鑰，因此私鑰的保存成為比特幣系統中最為熱門的課題之一。

表 2.6 Base64 編碼表

| 数值 | 字符 | 数值 | 字符 | 数值 | 字符 | 数值 | 字符 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 0 | A | 16 | Q | 32 | g | 48 | w |
| 1 | B | 17 | R | 33 | h | 49 | x |
| 2 | C | 18 | S | 34 | i | 50 | y |
| 3 | D | 19 | T | 35 | j | 51 | z |
| 4 | E | 20 | U | 36 | k | 52 | 0 |
| 5 | F | 21 | V | 37 | l | 53 | 1 |
| 6 | G | 22 | W | 38 | m | 54 | 2 |
| 7 | H | 23 | X | 39 | n | 55 | 3 |
| 8 | I | 24 | Y | 40 | o | 56 | 4 |
| 9 | J | 25 | Z | 41 | p | 57 | 5 |
| 10 | K | 26 | a | 42 | q | 58 | 6 |
| 11 | L | 27 | b | 43 | r | 59 | 7 |
| 12 | M | 28 | c | 44 | s | 60 | 8 |
| 13 | N | 29 | d | 45 | t | 61 | 9 |
| 14 | O | 30 | e | 46 | u | 62 | + |
| 15 | P | 31 | f | 47 | v | 63 | / |

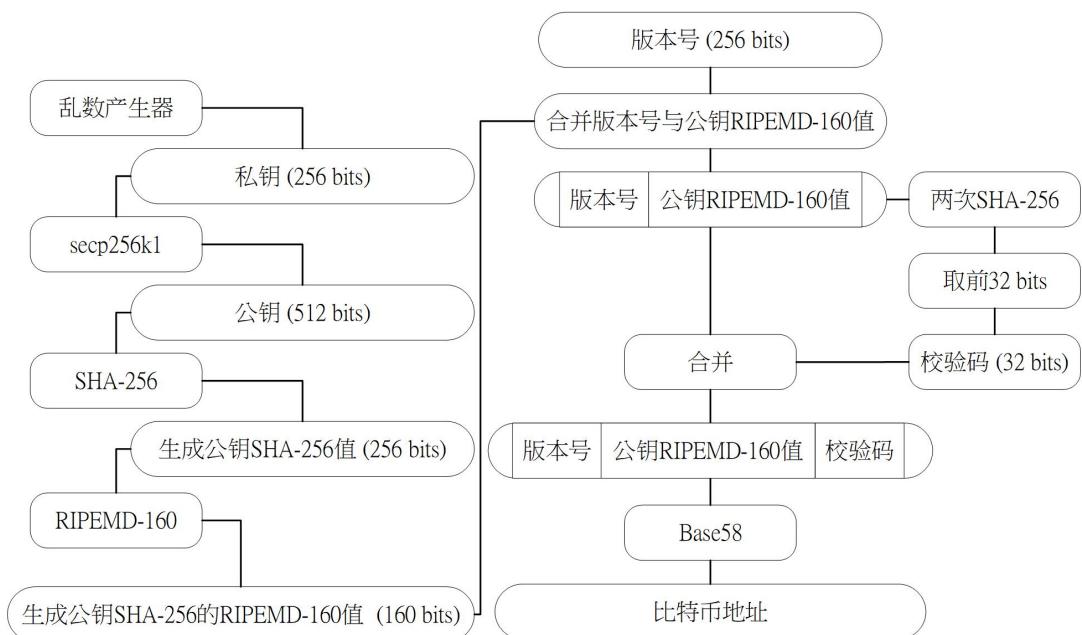


图 2.4 比特幣地址生成流程圖

2. 生成公鑰：在以亂數產生器生成私鑰之後，接下來將運用到非對稱密碼學中的私鑰公鑰轉換算法，於比特幣系統中採用的是 secp256k1，secp256k1 是橢圓曲線密碼學中的其中一個版本，不同的版本差異在於採用不同的變數。於比特幣地址生成的過程中，secp256k1 負責將上步驟生成的私鑰透過橢圓曲線算法計算出公鑰，生成的公鑰長度為 512 bits，比前步驟 256 bits 的私鑰多了一倍的長度。在比特幣交易中，私鑰可以簽署一筆交易，在簽署完之後便會將公鑰、簽名以及交易信息廣播至比特幣網路當中等待被收入到比特幣區塊鏈當中，此時該筆交易準備被存儲在比特幣交易緩存持當中，屆時可以使用 secp256k1 算法對透過公鑰、簽名以及交易信息進行驗算，倘若計算出的值為真則為有效，則會讓該筆交易繼續待在交易緩存持當中，等待被收入區塊鏈內。
3. 生成公鑰 SHA-256: SHA-256 為 SHA 家族之一，也是哈希算法的一種，因此符合哈希算法的特徵包括雪崩效應、不可預測、不可逆（單向性）以及校驗檔案是否完整性的諸多特性。在該步驟將前步驟生成長度為 512 bits 的公鑰作為 SHA-256 的輸入，產出長度僅為公鑰長度的一半的公鑰 SHA-256 哈希值。算該步驟使得知道公鑰 SHA-256 的攻擊者，更加難以用窮舉攻擊推導出該地址的公鑰。
4. 生成公鑰 SHA-256 的 RIPEMD-160: RIPEMD-160 也是哈希算法的一種，特色與哈希算法的特徵相同，RIPEMD-160 與 SHA-256 較為不同的部分在於 RIPEMD-160 生成的哈希值長度為 160 bits。在前步驟中，對公鑰進行 SHA-256 計算，公鑰已經有了第一層的保護，而在該步驟中，再次透過 RIPEMD-160 取得哈希值，這使得攻擊者既使取得比特幣地址，必須針對 RIPEMD-160 進行破譯，再進一步對 SHA-256 才有機會取得該地址的公鑰，也因為這樣的設計，對於僅收取比特幣不曾花費比特幣的比特幣地址，於黑客攻擊上造成相當大的難度。
5. 取得版本號：在比特幣系統初始的設計中，已經定義了些不同功能的比特幣地址，這些特殊功能的比特幣地址有著特殊的版本號，最為常見的為以"1"為頭的比特幣地址，該地址為比特幣系統中最早被使用且最為普遍的地址版本，該地址為一把私鑰進行比特幣地址推倒，所以僅需要一把鑰匙就可以移動該地址下的比特幣資產；第二種是以"3"為地址開頭的比特幣地址，該地址採用多重簽章技術，該技術為後續經過多項 BIP 才完成落實於比特幣系統。在第五個步驟中會加入版本號加以區分不同的地址。
6. 校驗碼生成：校驗碼為比特幣地址生成過程中重要的一環，可在支付比特幣的過程中降低因為手誤而將比特幣轉入到不存在（不符合比特幣地址生成規則）地址的可能性。對公鑰 SHA-256 的 RIPEMD-160 再做兩次 SHA-256，取該哈希值前 32 bits 的值作為校驗碼。

7. 版本號、公鑰 SHA-256 的 RIPEMD-160 和校驗碼合併：就是將版本號、第四個步驟的產生之公鑰 RIPEMD-160 及第六個步驟產生之校驗碼合併。
8. 合併的結果以 Base58 編碼：將第七步驟組進行合併組合的結果，利用 Base58 進行編碼，Base58 修改自 Base64，其與 Base64 最大不同之處在於移除了"0"、"O"、"I"、"l"、"+"、"/" 的字符，可以降低人工在判讀地址的錯誤率。

比特幣區塊鏈技術，雖然已經利用工作量證明的方式解決了雙重支付（Double-spending）問題^{[52][53]}，但工作量證明的算法所設定之題目困難度會直接影響到每一個比特幣區塊的產出時間，這個比特幣區塊的產出時間也考慮到比特幣全節點於全世界各地的網絡同步狀況，倘若今天的區塊生成時間過短會造成全世界的比特幣節點之區塊數據不一致，這樣的數據不一致將導致比特幣區塊鏈出現分岔，再更嚴重一點甚至會造成比特幣網絡的瓦解。

雙重支付問題存在於比特幣交易在未被區塊鏈確認收入到區塊鏈之前，都有機會受到惡意的攻擊者雙重支付同一筆款項。現今的比特幣區塊產出速度為十分鐘一塊，即便附上足夠的手續費也須等待將近十分鐘的時間，倘若是在手續費不足的情況下，該筆比特幣交易甚至會在比特幣交易緩存池中滯留一週的時間。在手續費足夠的情況下，十分鐘的確認時間會對實體店面的小額交易處理非常的不友善，為了在既有的比特幣區塊鏈的框架底下能夠提升交易速度，因此多重簽章（Multi-Signature）技術致力於在一開始創建交易的同時管控雙重支付交易的發生，他們採用了 2-of-2 多重簽章，也就是創建一個特殊的比特幣地址，這個比特幣地址的持有人有兩個代表人，分別為使用者與 Green Address^[54] 機構節點，這筆交易的建立必須要雙方同時簽署交易才被允許廣播至比特幣網絡中。若是遇到交易塞車，且節點緩存池空間不足的問題時，比特幣節點會優先遺棄手續費最低的交易，視同該筆交易不曾存在過，故若真的遇到交易被遺棄的情況，Green Address 機構節點也會透過內部的數據庫記錄再次廣播此筆交易，並確保此筆交易可以被收入至區塊內。Green Address 機構節點也就成為了交易創建的把關者，過濾所有的雙重支付攻擊的發生，也避免交易因為比特幣網絡塞車而交易被礦工遺棄的情形。在這樣的機制下，只要是用 Green Address 錢包交易即可確認雙重支付攻擊是不會發生的，對商家或是收款人而言，可以得到在即時交易中不被雙重支付攻擊的保障，提升在未進入區塊鏈的交易可確定性，進而創造出即時交易的可行性。

(一) Green Address 錢包生成過程

此節將詳細闡述 Green Address 錢包生成過程的重要步驟，如圖2.5所示。

1. 使用者安裝 Green Address 比特幣錢包。
2. 使用者於本地端透過亂數產生器生成一個比特幣私鑰。

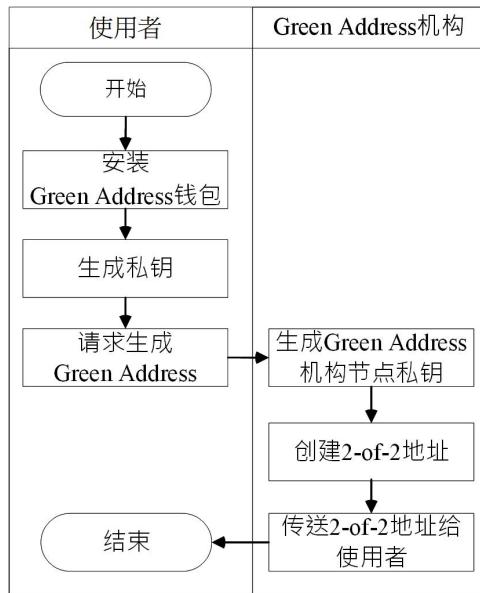


图 2.5 Green Address 钱包生成流程圖

3. 向 Green Address 機構節點請求創建 2-of-2 多重簽章比特幣地址。
4. Green Address 機構節點使用亂數產生器生成私鑰。
5. 創建 2-of-2 多重簽章比特幣地址如"2NGXNJrxq2qH6SuGEuJ57GjvMAmLUwPbZfQ"，該地址的為多重簽章地址，因此在地址的第一個字為"2"，倘若為一般非多重簽章地址，則地址的第一個字為"1"。
6. 將生成的 2-of-2 多重簽章比特幣地址傳回使用者的 Green Address 比特幣錢包。

(二) Green Address 交易發起流程

說明完 Green Address 地址是如何創建之後，本節將詳細說明如何運用多重簽章地址發起交易至比特幣網絡中，如圖2.6所示。

1. 使用者使用原本創建 Green Address 的私鑰，並完成簽署交易。
2. 因為是多重簽章地址，所以該交易需傳送至 Green Address 機構節點。
3. Green Address 機構節點收到交易信息後檢查該交易的發起地址是否存在雙重支付，倘若有雙重支付則遺棄；若無雙重支付則往下一個步驟。
4. Green Address 機構以 Green Address 的私鑰簽署該筆交易。
5. 將該筆交易封包廣播至比特幣網絡。

2.2 區塊鏈

自 2009 年以來，加密貨幣比特幣的誕生引發了新的貨幣革命浪潮，基於密碼學，點對點網絡，共識算法和區塊鏈技術，它們被結合成比特幣等加密貨幣。到目前為止，

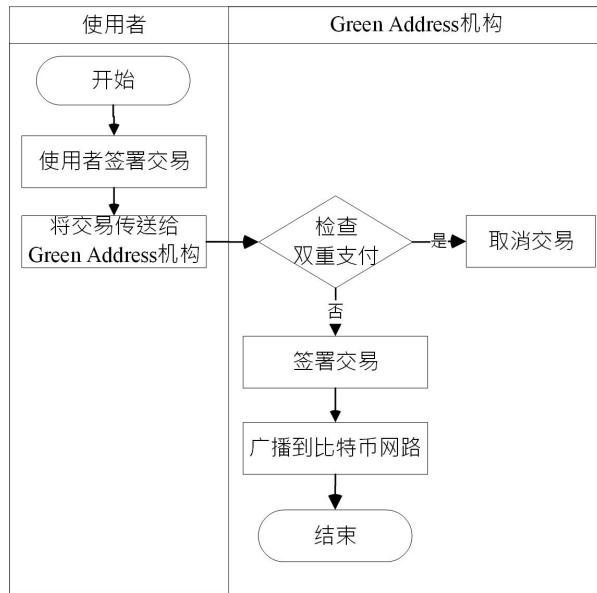


图 2.6 Green Address 交易發起流程圖

它在九年內發生大量的襲擊和欺詐事件後仍然在積極努力。比特幣一直是互聯網上最具代表性的加密貨幣，同時是區塊鏈技術最重要的應用之一。比特幣區塊鏈可視為一種專門存儲交易信息的數據庫，該數據庫的結構嚴謹。區塊鏈之所以稱為鏈是由許多區塊構成，區塊頭存在於區塊中記錄區塊中的重要信息共六項，分別為區塊版本、前區塊的哈希值、Merkle Root、難易度、時間戳以及Nonce，以下將逐一說明：

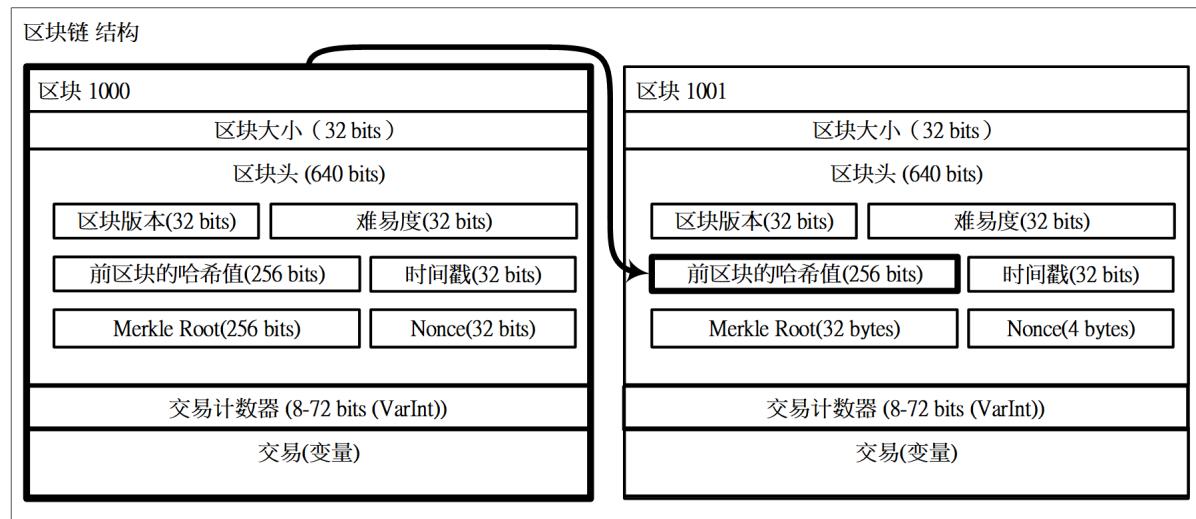


图 2.7 比特幣區塊鏈結構圖

1. 區塊版本 (32 bits)：該欄位存儲比特幣區塊鏈中的區塊版本。
2. 前區塊的哈希值 (256 bits)：記錄前一個區塊的哈希值。根據當前區塊的前一個區塊哈希值進而形成哈希指針，所有塊可以因為哈希指針連接在一起形成比特

幣區塊鏈，不僅可以在區塊與區塊間建立虛擬鏈接，還可以使得區塊更難以被篡改。而通過新區塊不斷疊加在舊區塊過程，舊區塊的哈希值將繼續傳遞到最新的區塊。若區塊上面堆疊更多的區塊，促使的哈希值間接引用越多次，因此較早創建的區塊更難以修改。

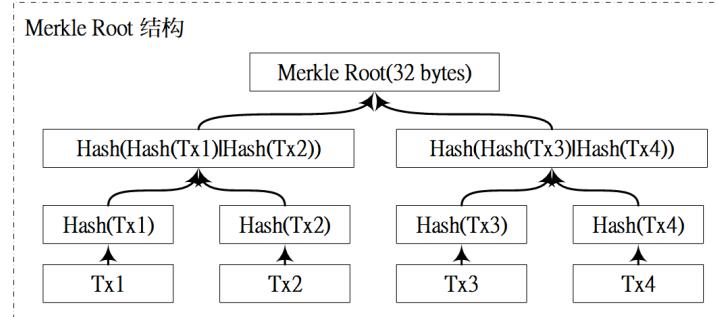


图 2.8 Merkle Tree 示意圖

3. Merkle Root (256 bits): Merkle Root 的生成方法是將當前區塊的所有交易為 n 個進行排序後，Merkle Root 為 Merkle Tree 的樹根，交易為樹葉 n 個，將每個樹葉進行兩次 SHA-256 哈希算法取得哈希值得到 n 個哈希值，再將哈希值兩兩配對合併進行兩次 SHA-256，得到 $n * 2^{-1}$ 個哈希值後，在 k 輪後會使得 $n * 2^{-k} = 1$ 時，合併到只剩下一個哈希值，最後一個哈希值則為 Merkle Root，如圖所示2.8，圖中的 Hash() 函數為雙重 SHA-256，在區塊鏈中的 Merkle Root 可用於快速檢查當前區塊中所有存儲交易的正確性。
4. 難易度 (32 bits): 難易度參數主要調控比特幣挖礦過程中採用工作量證明算法的變量，孰得一提的是比特幣的難易度參數為動態調整。在過去的加密貨幣的設計中，有著因為沒有動態修改區塊難度，而導致區塊鏈生成速度太快，甚至導致區塊鏈系統崩潰。
5. 時間戳 (32 bits): 以年、月、日、小時和秒的格式記錄區塊生成時間。
6. Nonce (32 bits): Nonce 記錄著礦工在進行挖礦時，必須要不斷的嘗試 Nonce 參數，直到符合難易度參數，才可以創建一個全新的比特幣區塊。該值為 32 bits，意為著礦工嘗試的組態空間為 2^{32} 個可能性。

第三章 系統需求分析

透過特性要因分析可以將比特幣的交易監督系統大致分為四個主題，如圖3.1所示，分別為信息安全技術、加密貨幣錢包、近場通訊技術以及數據庫。針對四項主軸，最為一個金流系統，信息安全是不可或缺的環節，著重於商家認證機制、用戶權力控管、身份識別管理、使用者訪問控制四個方向；本系統致力於奠定匿名對實名的加密貨幣系統，必須對區塊鏈技術、公鑰私鑰生成算法、點對點交易技術、錢包地址產出以及貨幣發行技術五個方向進行探討；在交易場景中，本系統採用近場通信技術，因此需要對商品RFID標籤建置、讀取商品RFID標籤以及Android Beam傳輸商品交易進行基礎的API調研；為了使的加密貨幣實名制的實現，數據庫必須存儲與政府和商家相關的信息。此時數據庫加密、個人資訊去識別化安全以及數據庫連接便相當重要。

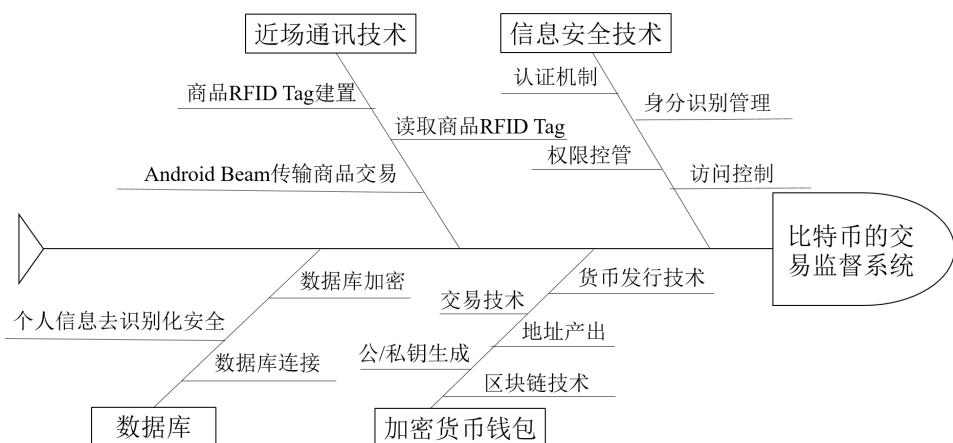


图 3.1 特性要因分析图

為了使得本文提出的系統設計的模塊更加的明確，對系統進行詳細的需求分席可以確立應確立的方向，在本章將分為三節進行分析分別為交易模型分析、功能性需求分析以及特性要因分析。

3.1 交易模型分析

在設計比特幣的監督系統之前必須針對現今社會中人與人之間的交易方式進行分析，在支付的方式大致分為現金交易以及電子支付。

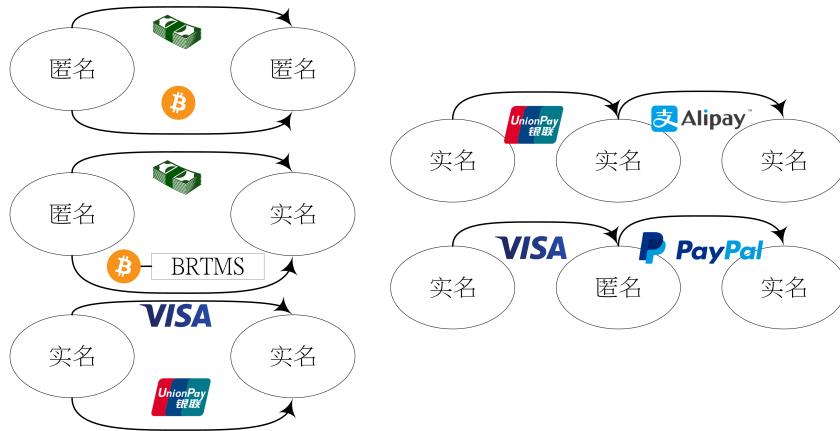


图 3.2 各種交易模型示意圖

3.1.1 現金交易類型

在現金交易模型中大致分為匿名顧客支付匿名商家以及匿名顧客支付實名商家兩種，在過去的社會中，貝殼貨幣逐漸的被黃金取代，但黃金過於沈重在交易上相當不便。紙鈔的誕生漸漸地取代了黃金，也使得法定貨幣的誕生，法定貨幣包括鈔票以及錢幣，在過往的法定貨幣存在著黃金價值支撐，使得法幣具有價值，但經過歷史的變遷，法定貨幣漸漸地走向信用本位已無大量的黃金作為法幣的價值支撐。紙鈔以及銅幣的發行皆不帶有持有者的真實姓名，因此在現金交易模型分析中將顧客支付皆歸類為匿名支付，圖3.2為各種交易模型示意圖。

(一) 匿名顧客支付匿名商家交易模型

現金法定貨幣的本身不存在使用者信息以及交易信息現金是一種匿名的支付方式，早期有許多的商家並無向政府進行註冊，當顧客完成挑選商品進行結帳的同時，顧客只是將現金貨幣交付給商家，商家將商品賣給顧客，但在這過程中並無開立收據。在商家無開立收據的情況下，顧客完成此次的交易後，倘若該商品存在著瑕疵，進而引起商家與客戶之間的消費糾紛，這使得在追根究底的過程中存在的沒有憑據的困擾。對於顧客匿名支付匿名商家可以保有顧客的信息隱私，但無法保障顧客應有的顧客權益。商家在未開立收據的同時可以避開政府的稅收，這使得政府在課徵稅收的過程變得困難，且商家所販售的商品並無得到明確的信息紀錄，對於商家庫存管理只能依靠過去的經驗。政府而言，商家販售的商品並無完整的商品信息，無法對商家商品進行安全性檢驗，使得國民購買的商品存在的許多安全疑慮。

(二) 匿名顧客支付實名商家交易模型

現今最為常見的交易模式為匿名顧客支付給實名商家，在顧客以匿名現金法定貨幣進行交易時，商家只要開立收據，即被歸類為匿名顧客支付實名商家交易模型。商家在開立收據的同時，在收據上記載的信息包括職工號、商家信息以及產品信息。記錄職工信息為了確立該筆交易應該賦予責任的人員，商家信息使得當顧客與商家發生交易糾紛時可以尋得取得賠償的對象，產品信息詳細記載顧客於該商家購買的商品。對於顧客，基於現金法定貨幣的匿名使顧客依舊保有顧客信息隱私，但卻因為商家開立收據可以保障顧客權益。商家因為開立收據使得商家為實名，因為實名使的商家可以經營品牌形象，除此之外，因為收據紀錄了產品信息這讓商家在庫存管理以及收入計算變得更加容易。對政府而言，可以檢視商家的所得以及商家販售的商品，使政府可以更有效率的課徵稅收以及檢驗管理產品安全。

3.1.2 電子支付類型

電子商務的日趨盛行電子支付交易模型也日漸普及，電子支付與加密貨幣的區塊鏈技術不同的是採用數據庫存儲著所有的交易信息，而用戶要能夠使用電子支付也必須接受電子支付運營商實名制的條件。在電子支付的數據庫中存在著黑客攻擊、信息不一致以及中心化運營的風險，但電子支付有效解決了遠距離支付的瓶頸，也使得現今的網路購物變得更加的方便。在電子支付交易模型中分為三種交易分別為實名顧客支付實名商家、實名顧客透過實名第三方再實名商家以及實名顧客透過匿名第三方再實名商家，以下將逐一說明。

(一) 實名顧客支付實名商家交易模型

VISA 為國際電子支付公司在申辦 VISA 電子支付前必須做詳盡的身份認證，VISA 電子支付為中心化的運營，使得公司可以凍結相關用戶的戶頭以及得到所有的用戶信息，且為了保護顧客隱私所有的交易信息皆存儲在 VISA 公司的數據庫當中。VISA 公司透過不斷的優化電子支付技術已經可以接受每秒兩千筆的交易，為了使得 VISA 公司能夠穩定的運營電子支付服務，VISA 公司將收取每筆交易固定比例的手續費。再透過 VISA 電子支付的過程中，顧客因為必須進行實名驗證，使得顧客必須透露顧客個人信息，甚至可以針對這些個人信息進行商業上的交易。對於商家必須承擔 VISA 電子支付所需的手續費，使得商家商品價格必須做出相對應的調整，對政府而言，因為交易信息皆以中心化的方式存儲，可以更方便的檢視，且可以更快速的查閱商家的收入課徵應繳的稅收。

(二) 實名顧客透過實名第三方支付實名商家交易模型

電子支付的方式日趨普及也使得可選擇的電子支付的渠道更加多元，較為常見的包括 VISA 電子支付以及銀聯電子支付，而每一家銀行為了使得顧客於電子商務的支付上更為便利會同時選擇電子支付，使得銀行卡支持電子支付，但多加的銀行卡林立使得顧客在卡片管理上更加的繁瑣，屆時但三方的整合平台變成解決方案。顧客可以在實名第三方支付添加多張卡片，再以第三方支付進行付款。實名顧客透過實名第三方支付實名商家，顧客可以得到更方便的銀行卡管理，但卻在第三方支付上透露了個人交易信息，對於商家可以僅支持第三方支付卻同時接受多家不同銀行卡的支付方式，對於政府僅需要調閱第三方支付公司僅可查閱該故可的所有用戶的交易信息，且可更完整的採集到商家的收入信息。

(三) 實名顧客透過匿名第三方支付實名商家交易模型

為了使得顧客可以保有更多的顧客隱私，Paypal 提出了實名顧客透過匿名第三方支付實名商家的模型，顧客預支付一筆資金給商家，首先使用 VISA 支付一筆資金到 Paypal 公司，屆時 Paypal 公司將以公司本身的名義支付該筆款項，換言之，商家不會取得顧客相關的個人信息，也無法對顧客交易信息進行數據挖掘，值得一提的是，透過 VISA 支付可直接將資金直接支付給商家但必須支付小額的手續費，透過 Paypal 支付資金必須多經過一家公司，這使得交易手續費更加的昂貴，但也因為多一個程序的資金轉移，使得顧客的個人信息可以得到隱匿。實名顧客透過匿名第三方支付實名商家的交易模型，對顧客而言商家可以開立收據使得顧客保有顧客權益，同時也保有顧客的匿名性，但缺點是必須承擔高額的手續費。對於商家，可以透過交易信息管理商品庫存，快速的計算商家的收益。政府可以快速地檢視商家交易信息以及商家所得。

3.1.3 交易比較

在上述五大模型中可以看出，在初始的交易模型為匿名顧客支付匿名商家交易模型，但因為無法保障故可與商家的權益發展出匿名顧客支付實名商家交易模型這使得顧客與商家可以兼顧雙方權益，且可以讓政府快速地檢視稅務相關信息。因為支付技術的日新月異開始有了 VISA 電子支付，使得電子商務可以快速的運行，但因為 VISA 支付透露了太多的個人信息，因為顧客需求逐步推出以實名顧客透過匿名第三方支付實名商家交易模型為基礎的支付方式，兼具以電子支付作為付款方式，卻同時保有個人隱私。但為一個缺點是需要多經過一個資經轉移的程序，造成手續費為多種交易模型中最為昂貴。有上述分析可知，現金法定貨幣最佳的交易模型為匿名顧客支付實名商家交易模型，而電子支付類型的交易模型演變也是往同一方向演進。在加密貨幣

支付中，大部分的交易皆為現金交易類型中的匿名顧客支付匿名商家交易模型，商家與顧客交易的過程中並無開立收據，使得顧客與商家發生消費糾紛時並無太多的依據。本文致力於使的加密貨幣可以同時兼顧顧客隱私且具有顧客權益，對於商家不需要支付手續費給運營商，且可以公開匿名的方式檢視所有的交易信息，使得政府在課徵稅收的業務上可以更加便利，表3.1為交易關係比較表。

表 3.1 交易關係比較表

| | 顧客 | 仲介單位 | 商家 | 商品 |
|--------|----|------|-------|-------|
| 現金 | 匿名 | 無 | 匿名/實名 | 匿名/實名 |
| VISA | 實名 | 無 | 實名 | 實名 |
| 支付寶 | 實名 | 實名 | 實名 | 實名 |
| PayPal | 實名 | 匿名 | 實名 | 實名 |
| 加密貨幣 | 匿名 | 無 | 匿名/實名 | 匿名/實名 |

3.2 功能性需求分析

在現今的比特幣交易系統中為匿名對匿名支付的交易模式，這樣的交易模式無法保障顧客權益，也使得政府無法再加密貨幣交易當中課徵稅收。在傳統的支付系統當中是實名支付給實名的交易模型，雖然可以有效地保障顧客權益，且使得政府可以課徵稅收，但在這對顧客個人隱私日趨重視的世代中，個人信息越來越有價值，個人信息的保護更是成為重要的課題。在本系統中，將以加密貨幣比特幣為基礎，設計一個以匿名顧客支付給實名商家為基礎的系統，在實現匿名支付給實名的交易模型的同時，也將商家的庫存信息同時加入，使得商家可以簡單的在本系統中管理商家產品庫存。在本系統中如圖3.3參與者總共有三種分別為商家、職工以及顧客。以下將逐一說明：

商家，在本系統中第一個參與者，因為必須要有商家的註冊參與，才可以進一步的添加職工以及商家產品信息，如此一來商家才有商品可以販售。參與者商家本身有三項需求，分別為用戶註冊與登入、職工管理以及商家產品管理：

1. 用戶註冊與登入：為了得到政府的認證，商家必須接受政府的檢視，提交相關的信息到本系統中。在用戶註冊的頁面當中，進行用戶的註冊或是登入都需要用戶信息，因此需要包括加載用戶信息。
2. 職工管理：在完成用戶註冊與登入之後，才得以進行職工管理，商家本身會有大於或等於一個職工的帳號，商家的註冊者本身會是一個職工。在職工管理當中，需要有修改職工帳戶與查詢職工帳戶兩項功能，查詢職工帳戶的功能必須包括加載職工信息。在進行職工帳戶修改時需要包括職工信息以及商家信息，才得以對職工信息進行修改。

3. 商家產品管理：商家需要添加產品信息至商家產品信息中，產品為政府認可的產品認證編號，在本系統中產品本身不存在價格，需要參與者商家將產品添加至商家產品信息中才可以添加價格，這樣的設計可以使得在不同的商家可以設置不同的價格。除了商家對商家產品價格需求，同時也需要對產品庫存進行管理，透過區塊鏈加密貨幣公開交易信息的特性，可以使得庫存管理以及交易信息更快速地核對。在商家產品管理中需要查詢產品信息，在查詢產品信息的同時包括加載產品信息，使得查詢過程可以順利運作。在查詢完成產品信息後，商家需要將產品信息與商家信息添加到商家產品信息當中，在這過程中需要包括加載商家信息以及商家產品信息。

職工，需要進行用戶註冊並且通過政府的審查，在完成政府的審查之後需要進入商家交易管理建置移動收銀機：

1. 用戶註冊與登入：要成為職工之前職工需要進行用戶註冊，等待政府的審查之後，並經由商家進行職工管理將用戶與商家一併提交到職工信息，才得以成為正式的職工，職工的用戶註冊與登入皆需要包括加載用戶信息，才能使得註冊與登入功能順利運行。
2. 商家交易管理：在完成登入後，商家交易管理將會加載相關信息，包括加載職工信息，在交易信息中添加職工編號，加載商家信息使得在進行交易的過程中可以將商家的比特幣地址傳送給顧客等待收款項以及加載商家產品信息使得職工的移動設備上可以顯示所有的商家產品信息，在完成信息加載後職工的移動裝置已經成為一台移動收銀機。在職工在進行掃碼的過程會創建交易清單並且將交易清單傳送給顧客等待顧客的付款。在等待付款時，商家交易管理需要認證該筆交易是否有效，因此需要加載交易信息，

顧客，為了保持顧客的身份匿名，參與者顧客與參與者職工和商家不同，顧客在參與本系統的同時不需要註冊帳戶以及登入用戶帳戶，顧客主要需求為加載過去與顧客相關的交易信息，以及使用比特幣支付進行付款：

1. 顧客交易管理：顧客需要加載交易信息，但因為交易信息中的信息並無詳細闡述商家產品信息，因此需要進一步加載商家產品信息使得交易明細更加的清楚。除了顯示過去的交易信息的需求，顧客更需要創建一筆交易進行比特幣付款。付款完成之後，等待參與者商家向顧客說支付完成即可。

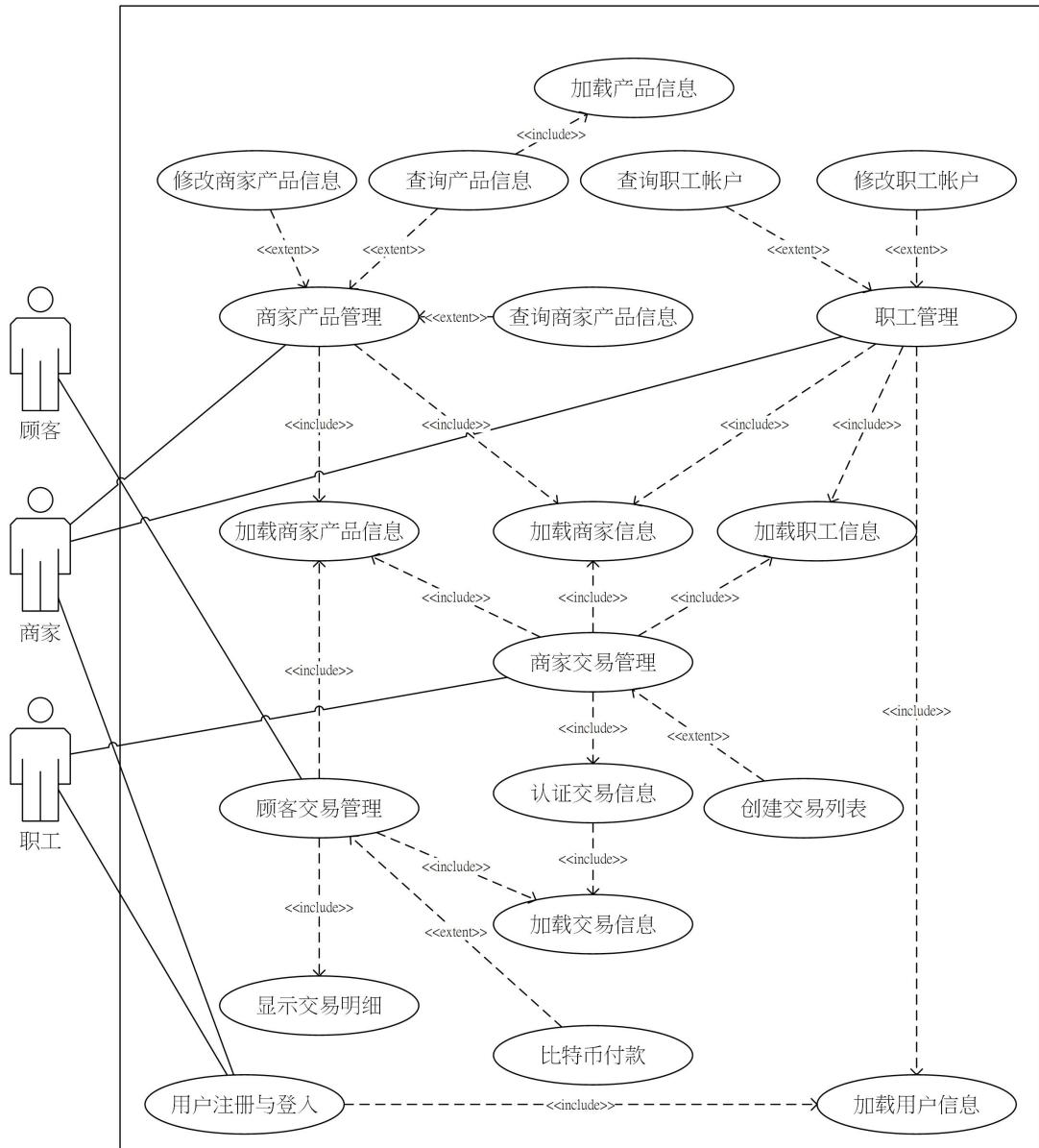


图 3.3 系统用例圖

3.3 非功能性需求分析

(一) 性能需求

本文所實踐之系統為比特幣的交易監督系統，參與者商家需要使用到商家端建置與管理商品資訊子系統，在參與者商家操作該子系統時，系統在設置完成後，於存儲的過程中應於三秒內完成。於商家端建置與管理商品資訊子系統、商家端行動收銀與交易明細系統應達到於兩秒內完成完成子系統與數據庫之間的信息傳遞以及信息存儲，倘若商家與顧客在完成交易後，卻無法得到快速的系統響應，這使得參與者顧客與職工遲遲無法離開收銀，甚至導致商家的交易塞車影響用戶的消費體驗。

(二) 可拓展性

本論文提出的系統為比特幣的交易監督系統雛形，於系統設計中將考慮最為最必要的功能加以實現，包括商家端建置與管理商品資訊子系統、商家端行動收銀與交易明細系統以及顧客端行動支付與交易明細系統，於上述三個子系統中皆可以進行數據庫欄位的添加，使得交易信息、商家信息、商品信息、商家產品信息、用戶信息以及職工信息更加的完備且更符合實際上業務需求。在未來甚至可以加入更完整的稅務信息，使得政府在於稅務計算方面可以更加地減少人力資源的支出且更快速地進行統計，於庫存管理方面可以加入庫存預測的服務。

(三) 可操作性

在本系統中的三個子系統中商家端行動收銀與交易明細系統以及顧客端行動支付與交易明細系統為實現在手持移動裝置 Android 操作系統上，於介面設計方面應給予商家用戶以及顧客用戶人性化的操作交互設計，以及於代碼撰寫方面應更加簡潔，使得用戶再啟動本手持移動端應用程序時可以在最短的時間內完成初始化程序加載，除了針對用戶交互方面的優化，也需要添加各個功能項目的使用說明以及用戶操作問題反饋，使得本系統的於移動設備的應用程序能夠儘速的修正提升用戶體驗。商家端建置與管理商品資訊子系統是以 Java 編程語言實現，針對參與者商家操作進行設計，該子系統需簡單明確的呈現商家信息、產品信息以及商家產品信息，使得用戶可以快速檢視所有商品，並新增、修改以及刪除該商家的相關產品信息，包括價格、庫存以商家產品描述。

(四) 軟件與硬件環境需求

表3.2為本文提出系統的軟件與硬件環境需求，商家交易客戶端與顧客交易客戶端是建置在 Android 手機的應用程序，本文提出的交易方式為比特幣，因此導入 bitcoinj^[55]

對比特幣錢包進行管理，該套件可以生成比特幣地址、同步比特幣區塊鏈、透過 AES 加密算法保護比特幣錢包以及發起比特幣交易至比特幣網路。針對數據庫的控制數據傳輸選用 JDBC^[56] 實現數據庫的新增、修改、刪除以及查詢的功能，商家交易客戶端與顧客交易客戶端的手機移動裝置必須要內置 NFC 傳感器用來傳送與接收交易信息。商家管理客戶端是以 Java 編程語言實現軟件環境中需支持 Java 工作環境，服務器端需要 SQL 環境逕行數據庫搭建。

表 3.2 環境需求表

| - | 操作系統 | 軟件 | 硬件 |
|---------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 商家交易 客戶端 與 顧客交易 客戶端 | Android 4 或以上 | Java 7 或以上 bitcoinjv0.14.6 JDBC 4.2 或以上 Maven 3+ | 存儲容量: 32GB 內存容量: 2GB 網路需求: 10 兆或以上 傳感器: NFC 傳感器 |
| 商家管理 客戶端 | Windows 7 或以上 | Java 7 或以上 JDBC | 硬盤容量: 100GB 內存容量: 4GB 處理器: Core 2 Duo 或以上 網路需求: 10 兆或以上 |
| 服務器端 | Windows Server 2003 或以上 | Microsoft SQL Server bitcoin-qt 0.8.X 或以上 Apache HTTP Server | 硬盤容量: 1000GB 內存容量: 16GB 處理器: Xeon E3 或以上 網路需求: 100 兆或以上 |

第四章 系統概要設計

本論文提出比特幣的交易監督系統(Bitcoin Transaction Monitoring System, BTMS)^[57], 以下簡稱 BTMS, BTMS 以加密貨幣比特幣實作, BTMS 包含三個子系統, 商家和商品信息管理子系統 (Store and Merchandise Information Management Sub-System, SMIMSS)、商家移動裝置收款及交易子系統 (Store Mobile payment Collection and Transaction Sub-System, SMCTSS)、客戶端移動支付和交易子系統 (Client Mobile Payment and Transaction Sub-System, CMPTSS), 圖4.1為主系統與子系統的功能模塊圖。

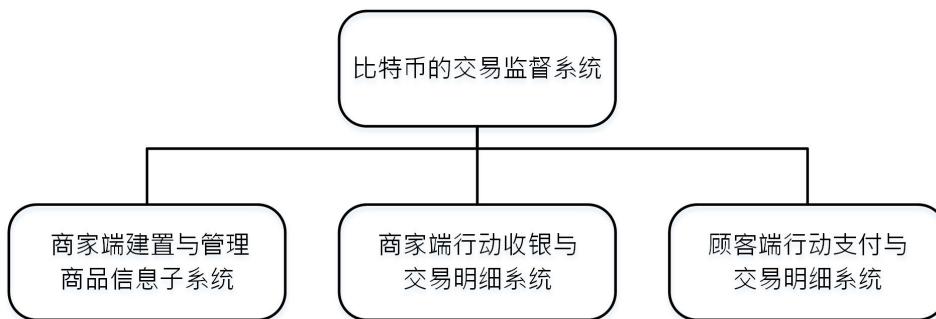


图 4.1 BTMS 系統功能模塊圖

本論文設計讓商家能夠結合商品與 RFID 標籤，以達到快速建構與管理商品資料庫之系統，並且讓商家及顧客可以運用手機 NFC 功能來實際運作比特幣的行動支付流程。商家只需要掃描商品上的 RFID 標籤，即可快速建立交易清單，再利用 NFC 功能與顧客之行動裝置進行訊息交換，輕鬆地將商家的收款地址以及交易資料傳送給顧客，收到資料後便能快速地以顧客之比特幣行動電子錢包付款，並將交易細項儲存下來，以便未來商家與顧客能夠快速查詢比特幣行動支付的交易紀錄。本系統主要是以完成區塊鏈之加密貨幣的收款監督系統為主要目標，本論文進而將積極利用自由軟體的利基：使用成本低、進入門檻低、開放原始碼、社群能力強、共通性及移植性強、資通安全性高等優勢來開發本論文收款監督系統的應用服務平台。本系統範圍包含建置下各項子系統如下：

1. 商家端建置與管理商品資訊子系統 (Store and Merchandise Information Management Sub-System, SMIMSS): 本系統可以讓商家在進貨時，快速地將 RFID 標籤之識別碼與進貨商品資訊集成在一起，並且透過本系統新增、修改或刪除資料庫內部的資訊，包括產品名稱、詳細資訊，存貨數量等資訊，商家與顧客便可依照該資料庫取得當前商品資訊與狀態。不僅讓商家的存貨資訊更加清楚明瞭，也可以提供顧客更多的即時服務，圖4.2所示。

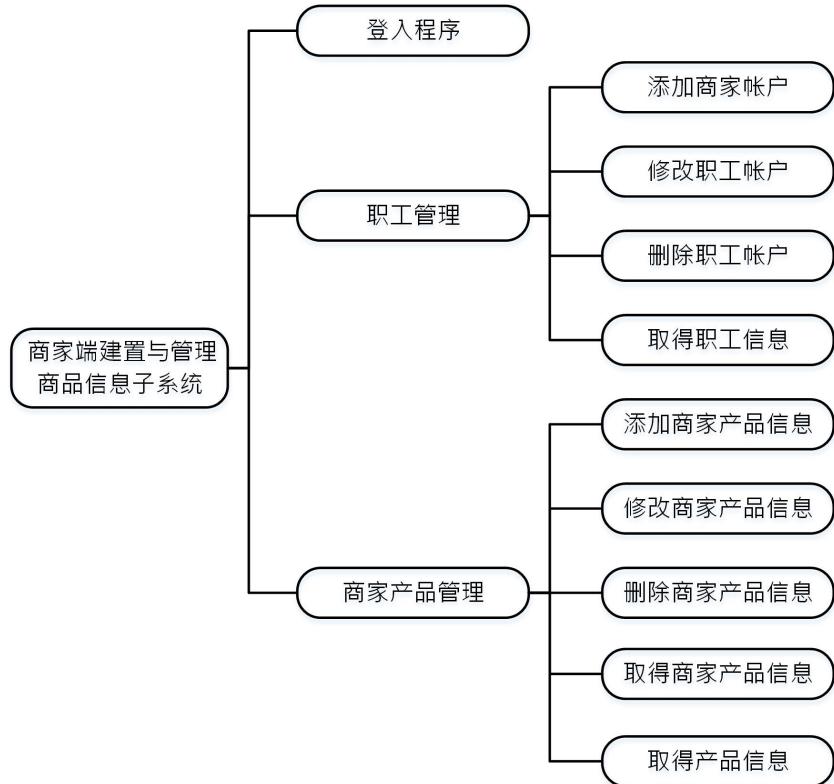


图 4.2 商家端建置與管理商品資訊子系統功能模塊圖

2. 商家端行動收銀與交易明細系統 (Store Mobile payment Collection and Transaction Sub-System, SMCTSS): 本系統使商家在結帳時，能夠以手機 NFC 功能掃描商品上的 RFID 標籤，即可簡單地建立交易清單，並透過 NFC 與顧客手機碰觸，將交易清單以及商家之比特幣收款地址等等重要交易資訊一併傳遞給顧客，可以減短結帳的速度，使結帳效率大幅提升，圖4.3所示。



图 4.3 商家端行動收銀與交易明細系統功能模塊圖

3. 顧客端行動支付與交易明細系統 (Client Mobile Payment and Transaction Sub-System, CMPTSS): 顧客在結帳時，不必再麻煩的拿出信用卡或是零錢包，只需要拿出手機讓職工以 NFC 將交易清單與比特幣地址轉送給自己，即可自動連結至比特幣電子錢包的應用程式當中，並且自動填妥相關資料，如：交易金額、收款地址等等與此同時也能將交易紀錄儲存於客戶端，以便日後顧客快速取得過往的交易紀錄，除此之外亦可讓廣大的民眾體驗加密貨幣與行動支付帶來的便利生活，圖4.4所示。

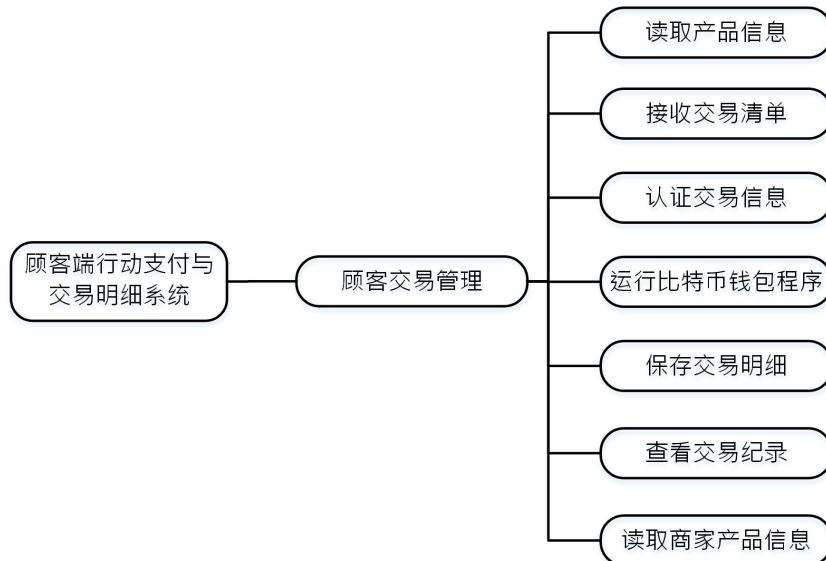


图 4.4 顧客端行動支付與交易明細系統功能模塊圖

4.1 BTMS 架構與運作流程

圖4.5為 BTMS 和商家註冊流程架構圖，商家需要在以下 4 個步驟中對用戶註冊與登入：

1. 商家必須在 BTMS 註冊一個用戶，並附有政府法規的商業證明。
2. 比特幣的交易監督系統將自動向相應的政府金融監管機構提交商業申請，以審查該商家的加密貨幣交易業務。
3. 如果政府批准商家的加密貨幣業務申請，服務器將激活商家在該收集監控系統中創建商家用戶。
4. 商家可以自由地登錄帳戶並添加商家想要出售的產品信息，亦可透過職工管理添加修改刪除職工信息。

具體的加密貨幣商家收銀金流監控系統運行過程如圖4.6所示，以圖4.5所設計出的系統架構進行擴增，首先需要與區塊鏈檢視器 (Blockchain Explorer)^[58] 對接，而之所

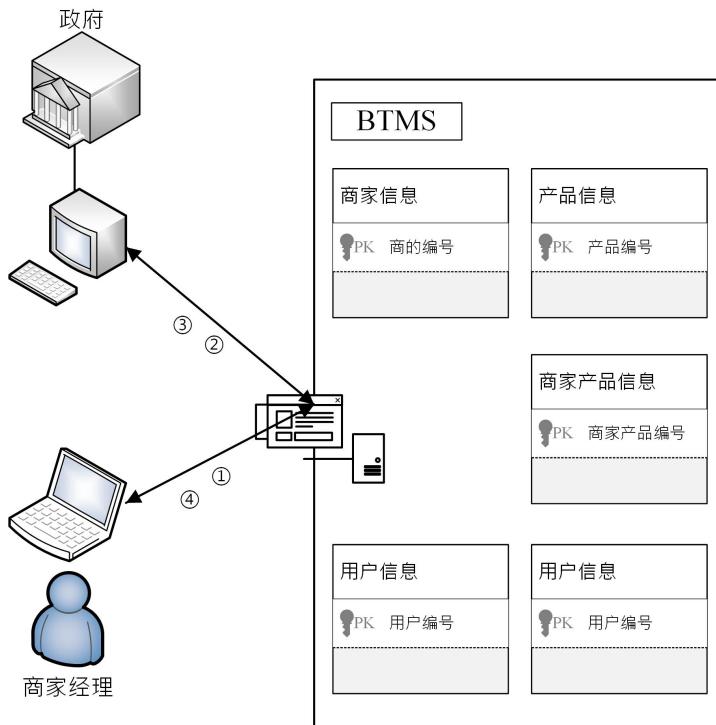


图 4.5 BTMS 和商家註冊流程架構圖

以該監控系統需要與區塊鏈檢視器對接是為了能夠最直接的比對交易被記錄的成交狀況，能夠達到即時性以及正確性，倘若擔憂單方面的依賴相信區塊鏈檢視器的成果，亦可以使用多家區塊鏈檢視器進行交叉參考，以避免因為一家公司的錯誤所帶來的影響。區塊鏈檢視器的目的是為了能夠快速地準確地比對該筆交易的成交，做為整筆交易提出到結算的環節之一。

圖4.6比特幣的交易監督系統創建步驟描述如下：

1. 商家職工將登錄到圖4.5中的第一個步驟，所示的先前步驟創建的用戶，使用手持式平板電腦或智能手機訪問 SMCTSS 中的服務。如前所述，在能夠登錄到系統之前，商家用戶必須由政府機構審計。
2. 在成功登錄 SMCTSS 用於商家加密貨幣金流監控系統時，移動設備將加載通過 SMIMSS 註冊的商家產品信息，然後創建產品目錄。商家的職工可以根據客戶的需求選擇所需的產品和數量。
3. 職工使用設備完成客戶選定商品的產品信息後，移動設備上的 NFC 技術可用於將產品信息從附近職工的移動設備傳遞給顧客的移動設備，而無需物理交互。然後，顧客可以很容易地將自己的消費信息記錄成為發票等參考。在接收從商家職工設備向顧客設備購買產品信息之後，顧客設備將向商家的移動設備發送其自己的比特幣支付地址的信息。

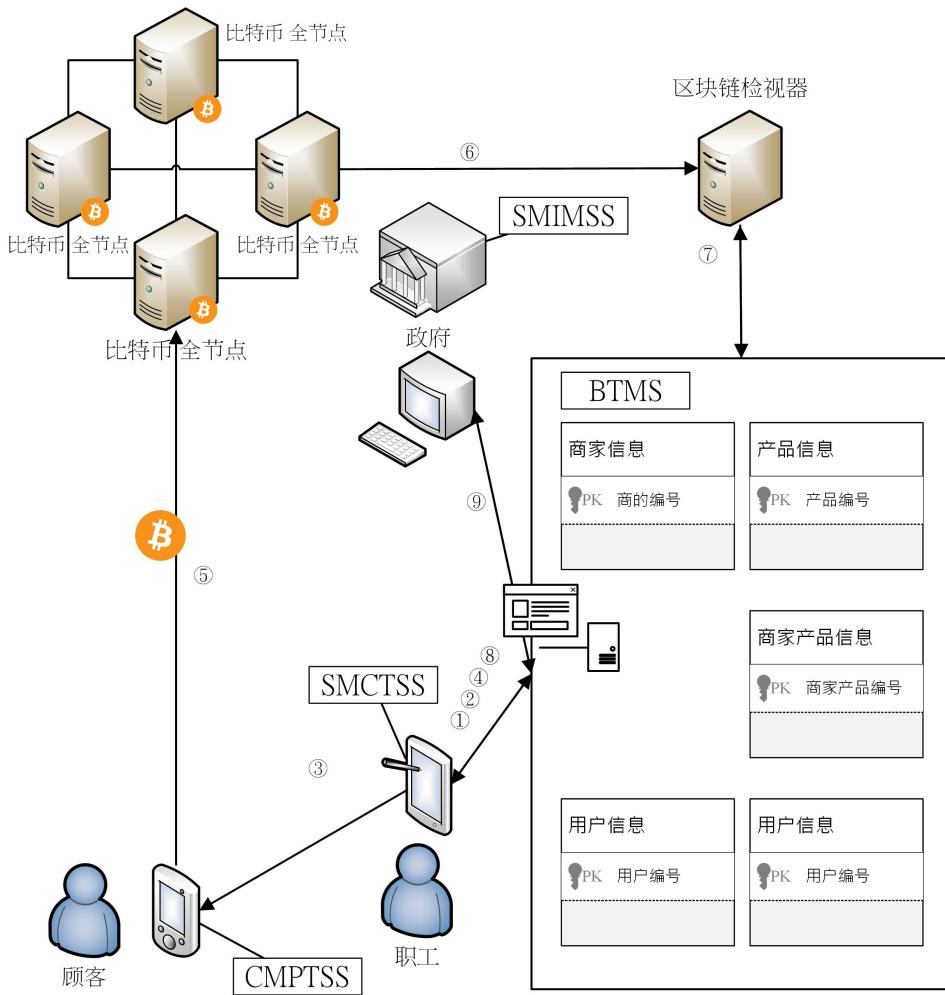


图 4.6 BTMS 的整體架構與功能示意圖

4. 商家的手持設備收到客戶確認購買所選產品的相應信息後，會將交易信息的副本發送給 SMIMSS 監控系統。顧客信息包括交易序列號、商家 ID 號碼、商品號碼、購買的商品的數量以及加密貨幣的收款人地址以及顧客的支付地址。
5. 收到顧客交易信息後，即完成此次的加密貨幣支付。同時，此次交易的加密貨幣將透過顧客端 CMPTSS 發佈到比特幣網絡中進行驗證和記錄。
6. 區塊鏈瀏覽器將開始分析在比特幣網絡中緩存池的所有交易以及區塊鏈中記錄的交易。
7. 擬議的交易監控系統 BTMS 將向區塊鏈檢視器提出請求。這個請求數據不僅包括存儲在 BTMS 中的交易副本之加密貨幣收款人地址（如圖4.5的第 4 步所述），還包括客戶預期付款的加密貨幣支付地址。區塊鏈瀏覽器使用請求數據來檢查交易是否存儲在區塊鏈中，或者交易還在等待確認。如果交易已被確認並存儲在區塊鏈中，則交易數據庫中“交易確認”字段的值將更改為“1”，否則其默認值為“0”。
8. 當“交易確認”字段中的值為“1”時，“交易已完成”消息可發送至商家平板電腦上運行的商家和商品信息管理子系統（SMIMSS）。
9. 政府財政監督部門可以審查擬議 BTMS 中的所有交易信息，以作為稅收審計參考。

4.2 實時 BTMS 架構與運作流程

在這樣的機制下，提出比特幣多重簽章算法實踐於政府端，將該方法稱為 Government Green Address，將優化後的系統稱為比特幣的實時交易監督系統（Bitcoin Real-time Transaction Monitoring System, BRTMS），以下則將該實時系統簡稱為 BRTMS，BRTMS 與過去 Green Address 比特幣錢包地址不同的在於 Green Address 生成需要生成兩把私鑰分別為用戶私鑰以及 Green Address 機構的私鑰，並將兩把私鑰加以合併行程形成綠色錢包地址。在用戶發起基於 Green Address 機制的比特幣交易時，用戶生成交易並使用數字簽名，再將該筆交易發送至 Green Address 機構進行下一個步驟的數字簽名，在這過程中完成 Green Address 機制交易必需依賴 Green Address 機構，且該機構位於海外再封包傳輸上會有一定程度的延遲。為了提升國內用戶可以更快速地透過多重簽章技術提升交易速度，BRTMS 將取代原有的 Green Address 機構，使得國內的用戶擁有更快的網路傳輸速度，更快的完成多重簽章算法簽名。^[59]

本節將詳述本系統之商家註冊、Government Green Address 錢包創建與驗證交易的運作流程與相關數據庫架構，如圖4.7所示。

1. 商家以通過政府機構的審查稽覈的用戶登入該系統。
2. 系統載入該商家註冊的商品信息，職工可以依照客戶的需求進行點單選取數量。

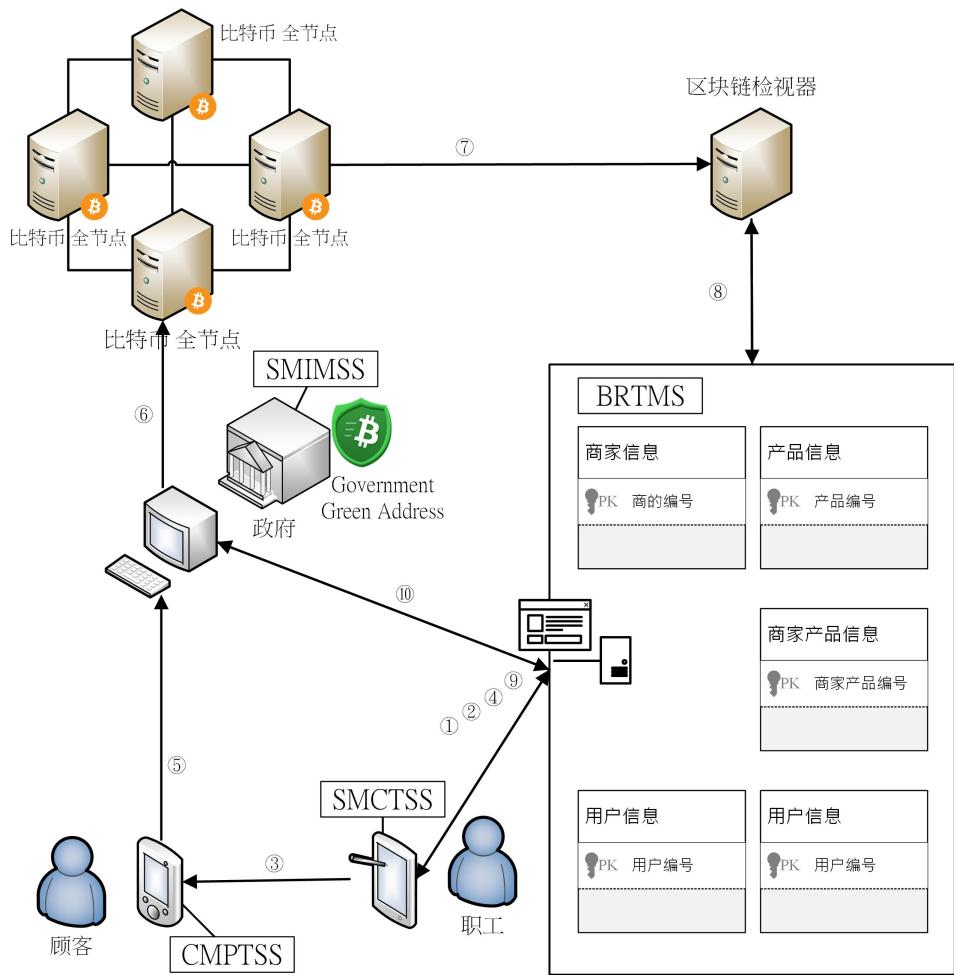


图 4.7 基於 Government Green Address 的 BRTMS 整體示意圖

3. 快速建立交易清單，並透過 Government Green Address 建立一個全新的比特幣收款地址，再以 Android Beam 的方式將交易信息輕鬆地傳達給顧客。
4. 在商家職工的平板電腦收到這筆交易信息之後，會對本監督系統重送一個副本進行存檔。該交易信息包括由監督系統所提出的交易流水號、商家編號等信息。
5. 顧客收到交易信息後，手機會自動開啟 Government Green Address 的付款頁面，確認金額無誤之後便能進行支付，此時便會以客戶的比特幣私鑰簽署交易，並等待 Government Green Address 機構節點的認證及發布。
6. Government Green Address 節點收到交易請求，並完成驗證非雙重支付攻擊後，以代理節點對應地址的私鑰簽署本次交易，並廣播至比特幣節點中。
7. 區塊鏈檢視器便會開始分析網絡中所有存在緩存池中的交易，以及已經被記錄到區塊鏈中的交易。
8. 本交易監督系統會向區塊鏈檢視器查找，檢查該筆交易是否已經存在於緩存池當中，若已經確認進入緩存池，則認定該筆交易成立並完成付款。
9. 在交易確認之後，便向商家職工的平板電腦送出交易已經成交的信息，此時完成交易，於此同時也將該筆交易信息建置於系統數據庫內。
10. 後續政府可以連入 BTMS 系統檢視交易信息。

第五章 系統詳細設計與實現

在前章中已將本文的系統設計概要架構說明，在本章中將對數據庫的內容信息設計進行詳細的說明、數據庫 ER 模型架構、各個模塊的類與類之間的關係、每個模塊運作的順序以及模塊與模塊之間的響應關係，最後則是系統實現的平台展示。

5.1 BTMS 數據庫設計

比特幣的交易監督系統應用六個信息表，分別為商家信息、產品信息、交易信息、用戶信息、職工信息以及商家產品信息，以下將逐一說明：

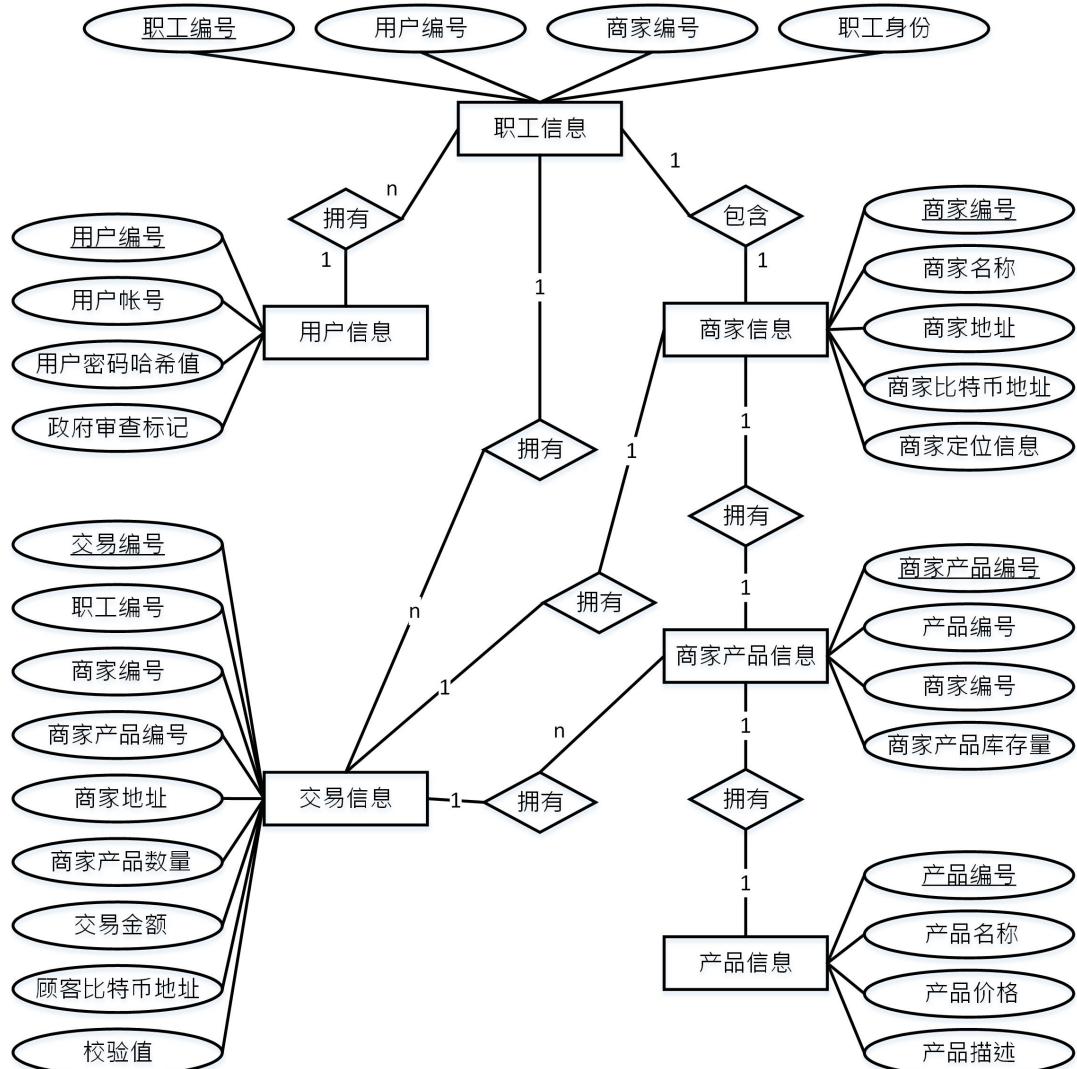


图 5.1 BTMS 數據庫實體關係圖

- 商家信息表：存储正在审核中的企业信息或已经过审核的企业信息。表5.1存储的信息包括商家编号、商家名称、商家地址、商家比特币地址以及商家定位信息。

表 5.1 商家信息表

| 序號 | 字段名 | 字段說明 | 類型 | 是否為空 | 主外鍵 |
|----|-------------------|---------|---------------|------|-----|
| 1 | STORE_ID | 商家編號 | int | 否 | PK |
| 2 | STORE_NAME | 商家名稱 | navarchar(20) | 否 | |
| 3 | STORE_ADDRESS | 商家地址 | navarchar(50) | 否 | |
| 4 | STORE_BTCAADDRESS | 商家比特币地址 | navarchar(50) | 否 | |
| 5 | STORE_GPS | 商家定位信息 | navarchar(30) | 否 | |

- 产品信息表：只有授权用户才能登录添加或修改交易产品信息。表5.2产品信息表内容包括产品编号、产品名称、产品价格以及产品描述信息。

表 5.2 产品信息表

| 序號 | 字段名 | 字段說明 | 類型 | 是否為空 | 主外鍵 |
|----|---------------------|------|---------------|------|-----|
| 1 | PRODUCT_ID | 產品編號 | int | 否 | PK |
| 2 | PRODUCT_NAME | 產品名稱 | navarchar(10) | 否 | |
| 3 | PRODUCT_PRICE | 產品價格 | float | 否 | |
| 4 | PRODUCT_DESCRIPTION | 產品描述 | navarchar(50) | 是 | |

- 交易信息表：表5.3记录包括交易编号、职工编号、商家编号、商家产品编号、商家地址、商家产品数量、交易金额、顾客比特币地址和最后确认字段的值。

表 5.3 交易信息表

| 序號 | 字段名 | 字段說明 | 類型 | 是否為空 | 主外鍵 |
|----|-----------------------|---------|---------------|------|-----|
| 1 | TX_ID | 交易編號 | int | 否 | PK |
| 2 | STAFF_ID | 職工編號 | int | 否 | FK |
| 3 | STORE_ID | 商家編號 | int | 否 | FK |
| 4 | STOREPRODUCT_ID | 商家產品編號 | int | 否 | FK |
| 5 | STORE_ADDRESS | 商家地址 | navarchar(50) | 否 | FK |
| 6 | STOREPRODUCT_QUANTITY | 商家產品數量 | int | 否 | |
| 7 | TX_AMOUNT | 交易金額 | float | 否 | |
| 8 | CONSUMER_BTCAADDRESS | 顧客比特币地址 | navarchar(50) | 否 | |
| 9 | CHEK | 校驗值 | bool | 否 | |

- 用户信息表：表5.4存储所有使用者信息，包括政府、商家及顾客之个人的账户编号与账号，而使用者密码则以哈希值的方式保存以增加用户安全性，最后则是政府审查值，倘若通过为"1"，未通过为"0"。
- 职工信息表：表5.5信息表存储各个商家拥有的职工信息，包括各职工编号、用户编号商家编号及职工身份。

表 5.4 用戶信息表

| 序號 | 字段名 | 字段說明 | 類型 | 是否為空 | 主外鍵 |
|----|-------------------|---------|---------------|------|-----|
| 1 | USER_ID | 用戶編號 | int | 否 | PK |
| 2 | USER_ACCOUNT | 用戶帳號 | navarchar(30) | 否 | |
| 3 | USER_PASSWORDHASH | 用戶密碼哈希值 | navarchar(30) | 否 | |
| 4 | GOVT_AUTH | 政府審查 | bool | 否 | |

表 5.5 職工信息表

| 序號 | 字段名 | 字段說明 | 類型 | 是否為空 | 主外鍵 |
|----|--------------|------|---------------|------|-----|
| 1 | STAFF_ID | 職工編號 | int | 否 | PK |
| 2 | USER_ID | 用戶編號 | int | 否 | FK |
| 3 | STORE_ID | 商家編號 | int | 否 | FK |
| 4 | STAFF_STATUS | 職工身份 | navarchar(20) | 否 | |

6. 商家產品信息表：表5.6存儲各家商家當前商家產品存貨信息，由商家產品編號、產品編號、商家編號及商家產品庫存量所組成。

表 5.6 商家產品信息表

| 序號 | 字段名 | 字段說明 | 類型 | 是否為空 | 主外鍵 |
|----|------------------------|---------|-----|------|-----|
| 1 | STOREPRODUCT_ID | 商家產品編號 | int | 否 | PK |
| 2 | PRODUCT_ID | 產品編號 | int | 否 | FK |
| 3 | STORE_ID | 商家編號 | int | 否 | FK |
| 4 | STOREPRODUCT_INVENTORY | 商家產品庫存量 | int | 否 | |

5.2 系統模塊設計

在本系統中共有三種使用者，分別為顧客、商家以及職工，首先是用戶登入與註冊模塊，其餘總共有四個管理模塊分別為商家產品管理模塊、職工管理模塊、顧客交易管理模塊和商家交易管理模塊，以下將說明各個模塊類圖設計以及時序圖運作。

(一) 用戶註冊與登入模塊

在本系統中僅職工與商家需要進行註冊，並且需要經過政府的審查批准。職工與商家皆為使用者皆可使用用戶註冊模塊。圖5.2為用戶註冊與登入模塊類圖，在 LoginManagement 類當中分別需要調用 RegistNewUser 類實現用戶註冊以及 LoginUser 類實現用戶登入。RegistNewUser 類中 hash() 方法是將用戶輸入的用戶密碼使用哈希算法生成用戶密碼哈希值，addnewuser() 方法則是將用戶帳號和密碼傳送至 User 類。在 LoginUser 類中 getuserpasswordhsh() 方法是向 User 類取得該用戶帳號的密碼哈希值。

圖5.3為職工與商家註冊時序圖，以下為流程說明：

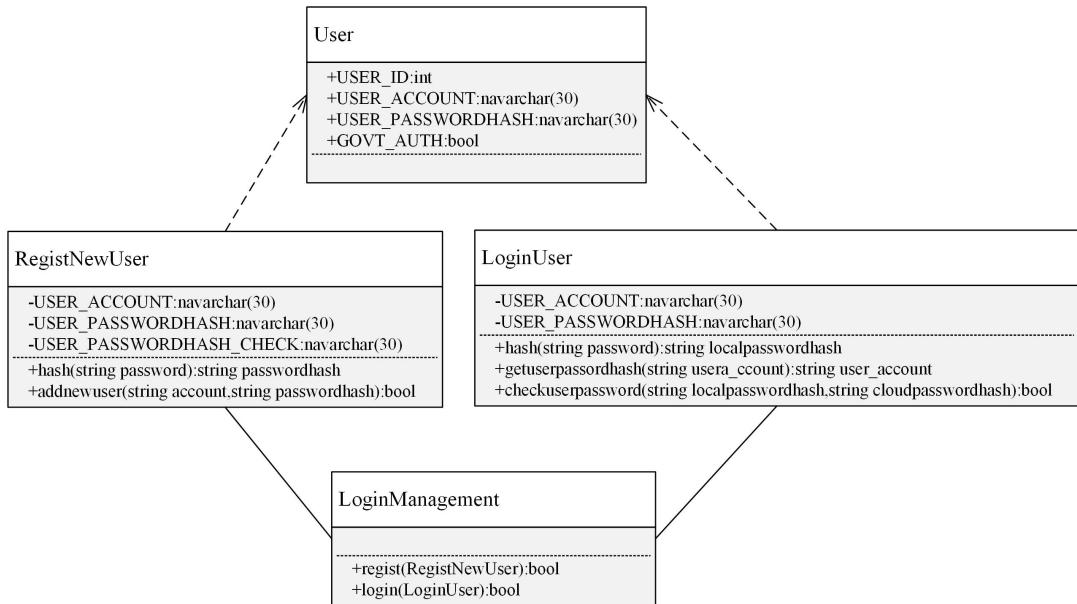


图 5.2 用户註冊與登入模塊類圖

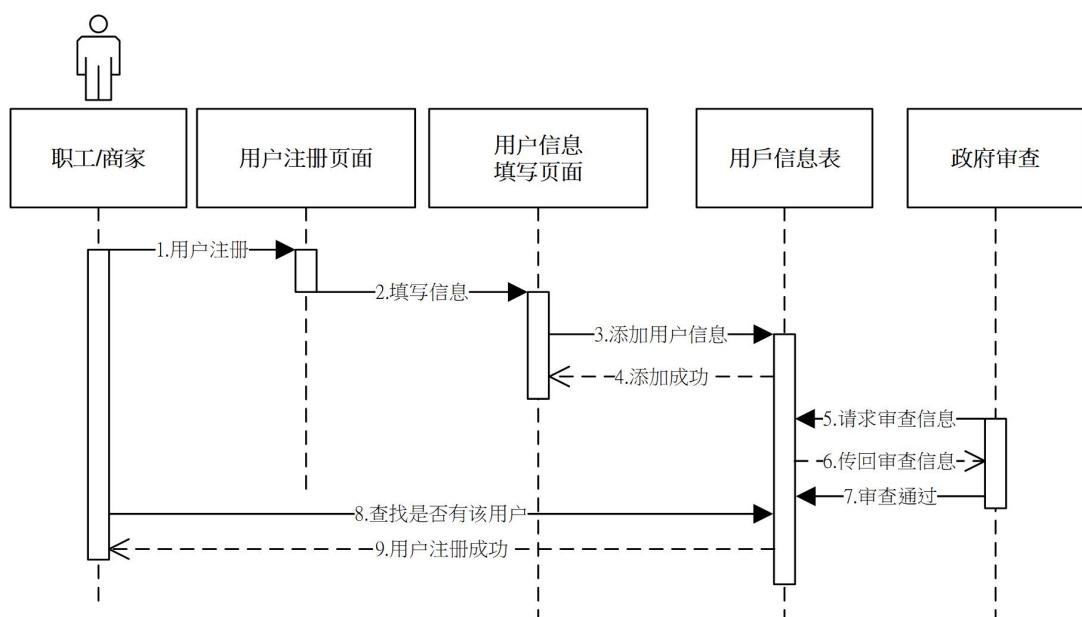


图 5.3 職工與商家註冊時序圖

1. 首先職工或是商家前往用戶註冊頁面。
2. 前往用戶信息填寫頁面填寫用戶帳戶信息以及用戶密碼。
3. 完成填寫後，為了提升使用者密碼信息安全，將使用者密碼以哈希算法計算後以密碼哈希值保存。將填寫完的帳號信息以及密碼哈希值提交到用戶信息表。
4. 用戶信息表則傳回添加成功。屆時的用戶信息已經存儲到用戶信息表內但是尚未被激活，需要等待政府進行審查。
5. 政府向用戶信息請求表拿取所有還未被激活的用戶信息。
6. 數據庫中的用戶信息表傳回，政府請求的用戶信息清單。
7. 政府進行用戶審查，在完成用戶審查後，則向用戶信息表內輸入審查通過。
8. 此時，用戶再次訪問用戶信息表當中，用戶帳號是否已經激活成功。
9. 用戶信息表回傳已經驗證通過。

(二) 產品管理模塊

商家的運營需要管理本身所需販售的商品，在商家完成註冊用戶帳號並且通過政府審核之後，便可檢視所有的產品，近一步可以透過產品管理模塊新增、修改以及刪除商家商品。圖5.4為商家產品管理類圖，其中 `StoreProductManagement` 類中有四個方法需要實現分別為顯示商家信息的 `showstoreinfo()` 方法、顯示商家產品信息的 `showstoreproductinfo()` 方法、顯示產品信息的 `showproductinfo()` 以及修改商家產品信息的 `edit()` 方法。其中 `StoreProductCompare` 類與 `EditStoreProduct` 類需要向 `StoreProduct` 請求商家產品信息，`StoreProductCompare` 類中的 `compare()` 方法是向商家產品信息表取得與 `store_ID` 相符的所有相關商家產品。`EditStoreProduct` 類中的 `addstoreproduct()` 方法 `editstoreproduct()` 方法以及 `deletestoreproduct()` 方法分別為新增、修改以及刪除商家產品信息。`StoreCompare` 類中的 `compare()` 方法是向 `Store` 類請求與 `store_id` 相符的商家信息。

圖5.5為商家產品管理時序圖，以下為流程說明：

1. 商家在完成用戶註冊後並完成政府的審核之後，便可填寫使用用戶與用戶密碼到登入頁面。
2. 登入頁面會將用戶提交之密碼透過哈希算法生成密碼哈希值。
3. 用戶登入頁面向用戶信息表詢問該用戶帳號的密碼哈希值。
4. 用戶信息表將該帳戶的密碼哈希值傳回給用戶登入頁面保存。
5. 用戶頁面將本地密碼哈希值和從數據庫信息表中請求保存的密碼哈希值進行比對是否相同。
6. 倘若本地與數據庫中的哈希值一致，則為登入成功。
7. 屆時可以進入商家產品管理模塊。

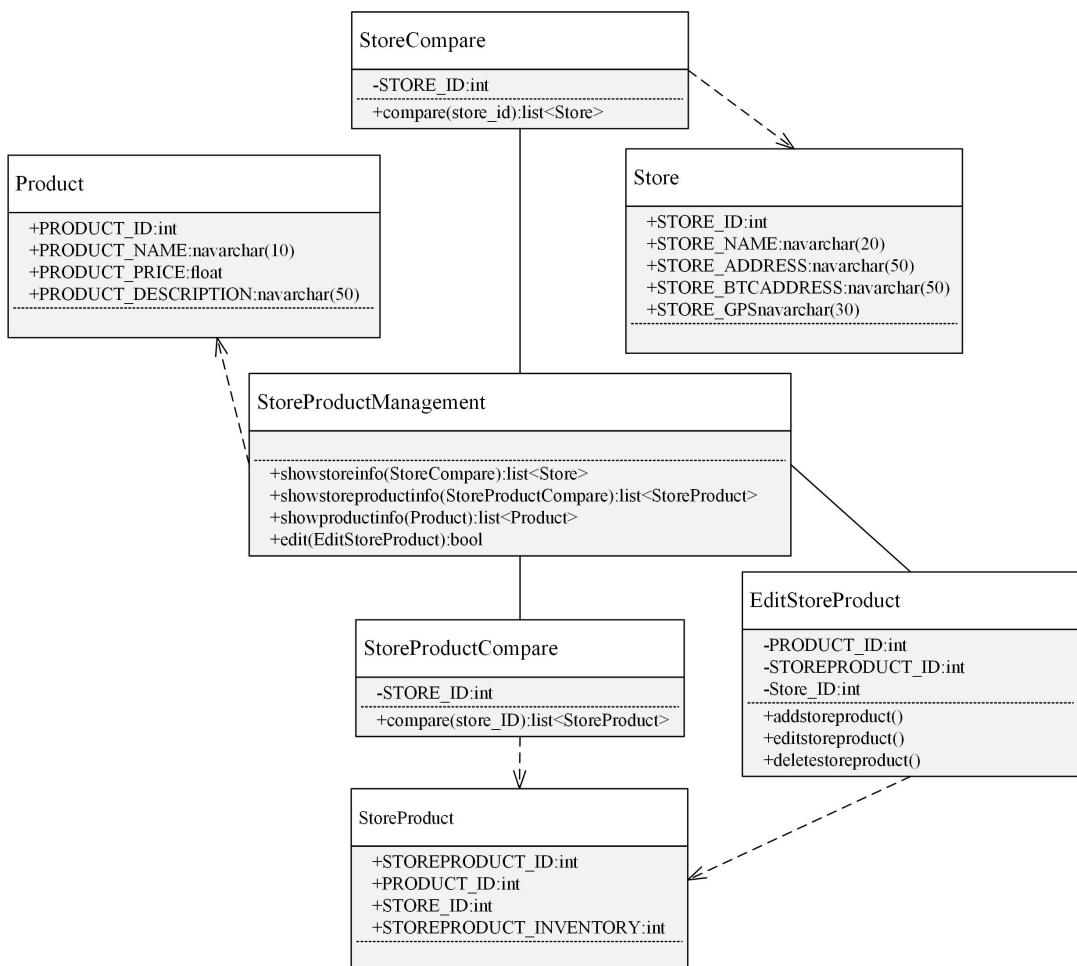


图 5.4 商家產品管理類圖

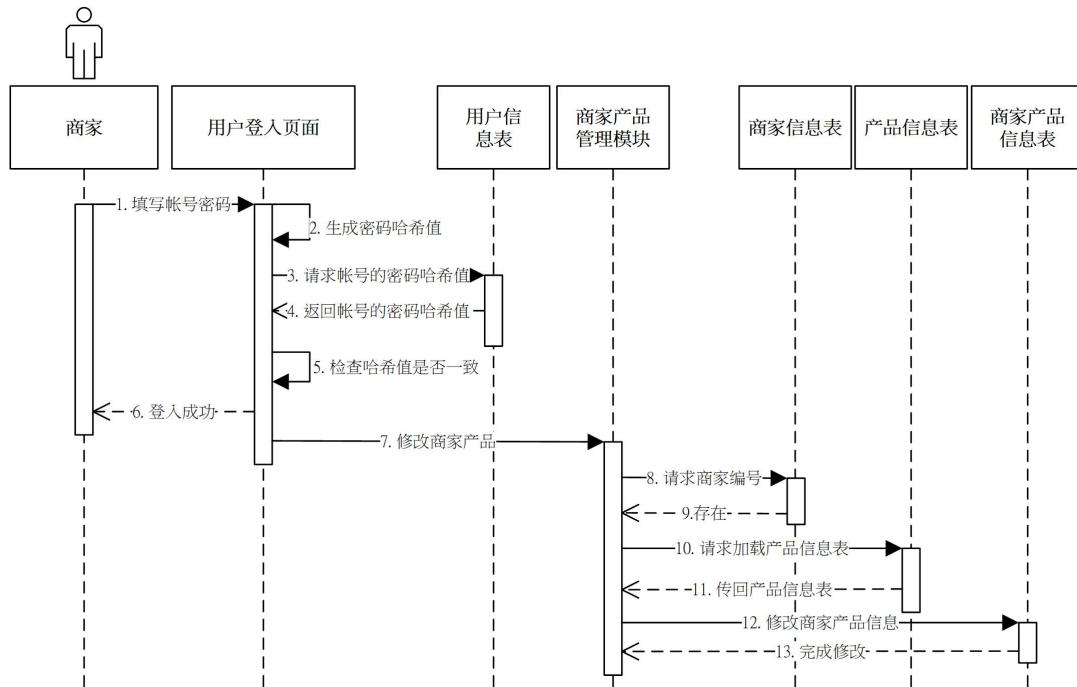


图 5.5 商家產品管理時序圖

8. 為確認預修改的商家是否存在，所以向數據庫中的商家信息表請求該商家編號是否存在。
9. 商家信息表返回存在的信息。
10. 向數據庫中的產品信息表當中請求所有的產品信息。
11. 產品信息表回傳所有的產品信息。
12. 此時商家已經確認商家信息是否存在，且已經取得所有的產品信息。商家向商家產品信息表提交商家要增加的產品編號以及商家本身的商家編號，此時生成商家產品編號。
13. 商家信息表在完成添加商家產品信息之後，傳回添加成功的信息到商家產品管理模塊。

(三) 職工管理模塊

商家需要職工進行商家的運營，在家用戶完成政府審查之後，便可以進入職工管理模塊，透過提交用戶編號以及商家編號新增、修改以及刪除職工信息。圖5.6為職工管理模塊類圖，StaffManagement 類當中有四種方法分別為顯示與該商家 store_id 相符的完整信息 showstore() 方法、顯示符合該商家 store_id 職工信息的 showstorestaff() 方法、顯示用戶編號的 showuser() 方法。UserCompare 類需要向 User 類提取用戶相關信息實現查詢，StoreCompare 類需要向 Store 類請求商家信相關信息，其中 EditStoreStaff 類與

StoreStaffCompare 類需要使用到 Staff 類修改職工信息表的內容，EditStoreStuff 類中的 addstaff()、editstaff() 以及 deletestaff 方法分別為新增、修改以及刪除職工，StoreStaffCompare 類中的 compare 方法是取得符合 STORE_ID 的所有職工信息。

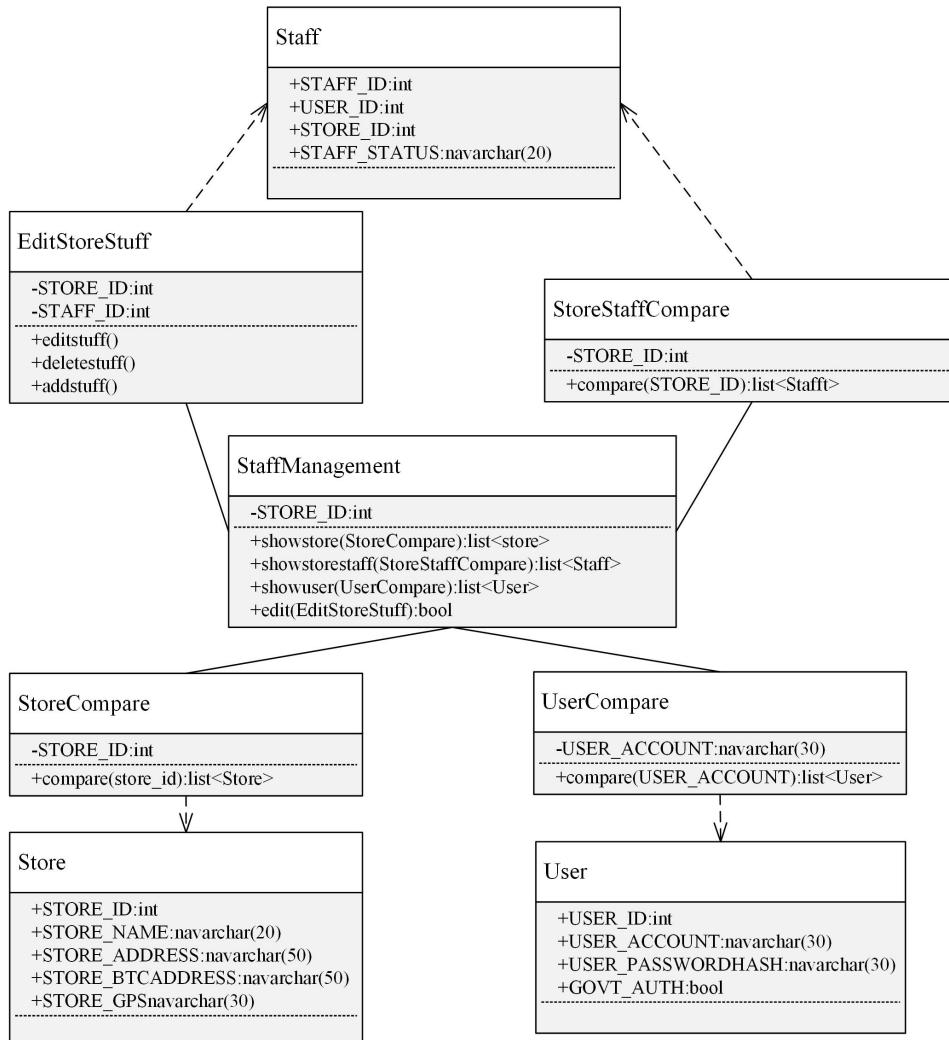


图 5.6 职工管理模块类图

圖5.7為商家職工管理時序圖，以下為流程說明：

1. 商家前往用戶登入頁面輸入用戶帳號密碼。
2. 用戶登入頁面自動使用哈希算法將用戶密碼轉換成密碼哈希值。
3. 用戶登入頁面向數據庫中的用戶信息表請求該用戶帳號的密碼哈希值。
4. 數據庫用戶信息表回傳用戶密碼哈希值。
5. 用戶登入頁面比對本地端的用戶密碼哈希值與數據庫中的密碼哈希值是否一致。
6. 倘若數據庫中的密碼哈希值與用戶登入頁面生成的密碼哈希值一致，則登入成功。

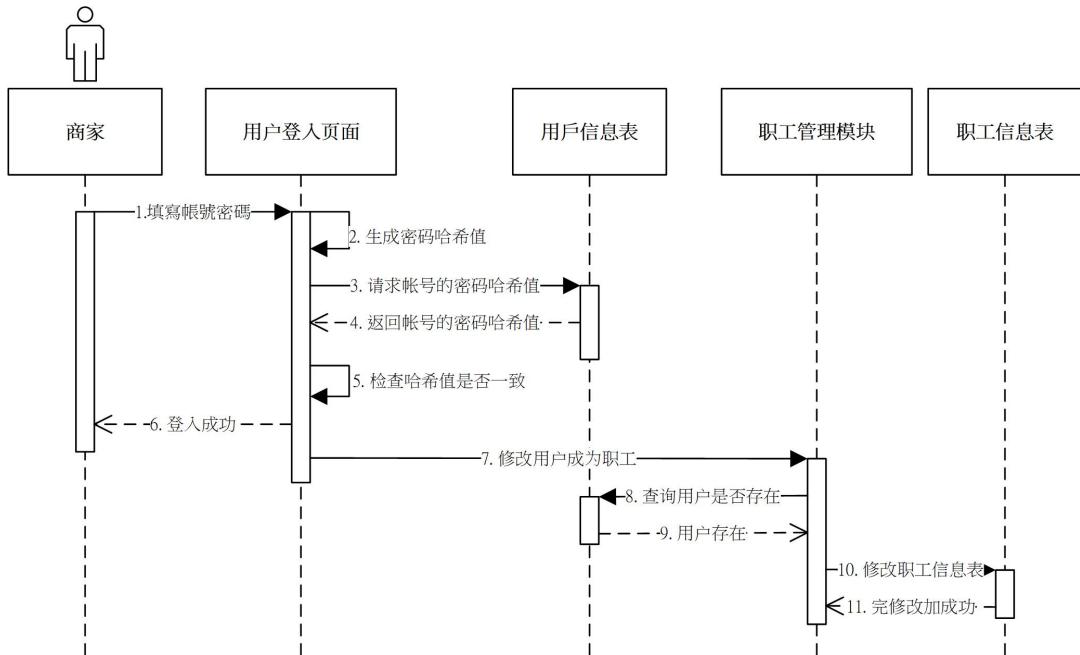


图 5.7 商家職工管理時序圖

7. 商家提交商家編號以及預添加的用戶編號。
8. 職工管理模塊向用戶信息表查詢該用戶是否存在。
9. 用戶信息表傳回用戶存在信息。
10. 職工管理模塊向數據庫中的職工信息表提交用戶編號、商家編號以及職工編號修改職工信息。
11. 職工信息表傳回修改完成。

(四) 商家交易管理模塊

在用戶完成註冊後且在商家將該用戶加入成為公司職工後，該職工可以透過用戶帳號進入到商家交易管理模塊，該模塊為移動裝置的應用程序，在進入到本模塊後會自動加載商家商品、商家信息以及職工信息，製成一個基於區塊鏈加密貨幣的移動收銀機，可以掃描帶有 RFID 的商家產品標籤，創建交易給等待用戶交易管理模塊讀取以及驗證交易是否完成的信息。在 `StoreTransactionManagement` 類當中有五個方法分別為顯示所有的商家產品信息的 `showstoreproduct()` 方法、顯示職工信息的 `showstorestaff()` 方法、顯示商家信息的 `showstore()` 方法、檢查交易是否完成的 `check()` 方法以及透過 nfc 傳輸協議傳輸信息的 `nfc()` 方法。`StoreCompare` 類中的 `compare()` 方法是向 `Store` 類取得與 `store_id` 相符的商家信息，`StoreProductCompare` 類中的 `compare()` 方法是向 `StoreProduct` 類請求與 `store_id` 相符的所有商家產品信息。`StoreStaffCompare` 類中的 `compare()` 方法是向 `Staff` 類中請與 `user_ID` 相符的職工信息。在 `NFCMessage` 類中

有兩個方法分別 `recivenfcmessage()` 方法使得商家可以快速的掃描商品的 RFID 標籤以及 `sendnfcmessage()` 方法使得職工再創建完交易清單後可以將交易信息傳送給顧客。`CheckTx` 類中有兩個方法分別為取得於 `Tx` 類中交易信息的 `compare()` 方法以, `getcheck()` 方法是檢查該筆交易的 `CHECK` 值是否已經在 `Tx` 類中被修改為"1", 倘若被修改為一則意味著該筆交易已經被寫入區塊鏈中。在本模塊要做到驗證比特幣交易是否已經被存儲在比特幣區塊鏈當中, 必須使用 `BlockchainExplore` 類中的 `getblockchain()` 方法取得所有區塊鏈相關的信息, 再透過 `getbitcoinctx()` 方法取得該筆比特幣交易的狀態以及詳細信息。`Tx` 類中可以調用 `txcheck()` 方法調用 `BlockchainExplore` 類檢查, 該筆交易是否已經進入了區塊鏈, 如果已經進入區塊鏈, 則將相關的交易信息的 `CHECK` 修改為"1", 值得一提的是在此將 `CHECK` 修改為"1" 的標準為該筆交易進入區塊鏈的時間, 因為比特幣區塊鏈的生成速度平均為每十分鐘一塊, 這使得交易確認速度不夠即時。

圖5.9為商家交易管理時序圖, 以下為流程說明:

1. 首先職工填寫用戶的帳號密碼到用戶登入頁面。
2. 用戶登入頁面模塊將用戶填寫的密碼透過哈希算法生成本地端的用戶密碼哈希值。
3. 將用戶填寫的帳號發送到用戶信息表請求遠端的用戶密碼哈希值以及商家編號。
4. 用戶信息表傳回遠端的用戶密碼哈希值。
5. 用戶登入頁面模塊進行本地用戶密碼哈希值和遠端用戶密碼哈希值比對是否一樣。
6. 倘若一致則登入成功。
7. 此時用戶登入頁面向商家交易管理模塊發送商家編號的信息, 商家交易管理模塊將信息保存。
8. 商家交易管理模塊向商家產品信息表請求與商家編號相關的所有商家產品信息。
9. 商家產品信息表傳回所有與商家相關的商家產品信息至商家交易模塊。
10. 商家交易管理模塊向商家信息表請求商家商家比特幣地址信息。
11. 商家信息表將商家比特幣地址信息傳回到商家交易管理模塊。
12. 商家產品信息表將所有與商家編號有關的商家產品信息傳回到商家交易管理模塊, 此時商家交易管理模塊已經有完整的商家產品信息以及商家信息。將帶有 RFID 標籤的商品透過 NFC 線圈進行感測對應到相關的商家產品信息。
13. 將產品信息建立交易清單顯示在移動裝置的屏幕上, 等待顧客的手持裝置進行感應, 感應的同時會將交易清單以及商家比特幣地址傳送到顧客交易管理模塊。
14. 在感應的同時顧客交易管理模塊會將比特幣錢包模塊中的比特幣地址提交給商家交易管理模塊。

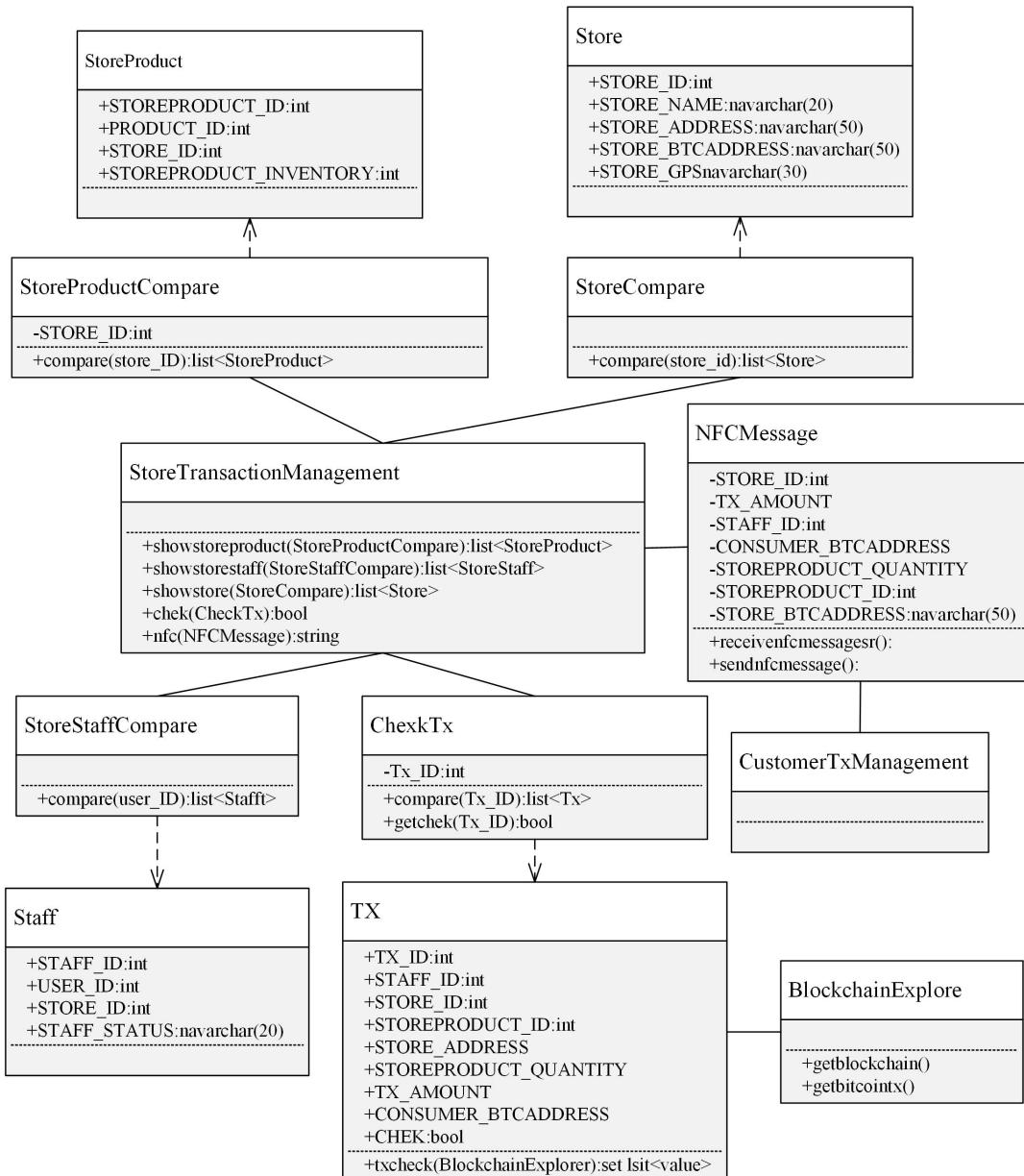


图 5.8 商家交易管理模塊類圖



图 5.9 商家交易管理時序圖

15. 商家交易管理模塊發送信息至交易信息表查找該筆交易信息。
16. 交易信息表不斷的向區塊鏈檢視器查找該筆比特幣交易是否已經被寫入比特幣區塊鏈內，倘若寫入區塊連則將交易信息的 CHEK 信息由"0" 改為"1"。
17. 交易信息表傳回該筆交易的 CHEK 已經為"1" 則完成交易

在比特幣系統中，使得一筆比特幣交易得到比特幣網路的認可，交易的驗證需要等待六個區塊的交易驗證，相當於需要費時 60 分鐘的時間等待一個交易的完成，這使得比特幣交易在商家進行小額交易造成很大的不便，因此為了在 BRTMS 中改善此問題，便導入了基於 GreenAddress 錢包的多重簽章算法，使得交易時間可以從 60 分鐘的等待時間，縮短為一秒鐘左右。圖5.10為商家 Government Green Address 交易管理模塊類圖，在此模塊類圖中針對 Tx 類中添加 ggatxcheck() 方法，使得商家交易管理模塊可以支持 Government Green Address 地址格式的辨別，當檢測到為 Government Green Address 地址格式，將交易信息中的 CHECK 欄位修改為"1"，這使得比特幣交易信息可以在平均一秒鐘的時間得到交易確認，ggatxcheck() 方法需要調用 BlockchainExplore 類中的 getblockchain() 取得比特幣區塊鏈的信息以及 getbitcoinctx() 方法得到比特幣交易信息。在 GovernmentGreenaddressCheckTx 類中提供 compare() 方法可以針對 Government Green Address 地址向交易信息類查詢相關信息以及 ggacheck() 方法檢測該比較易是否存儲於交易信息中的 CHEK 值已經被修改為"1"。

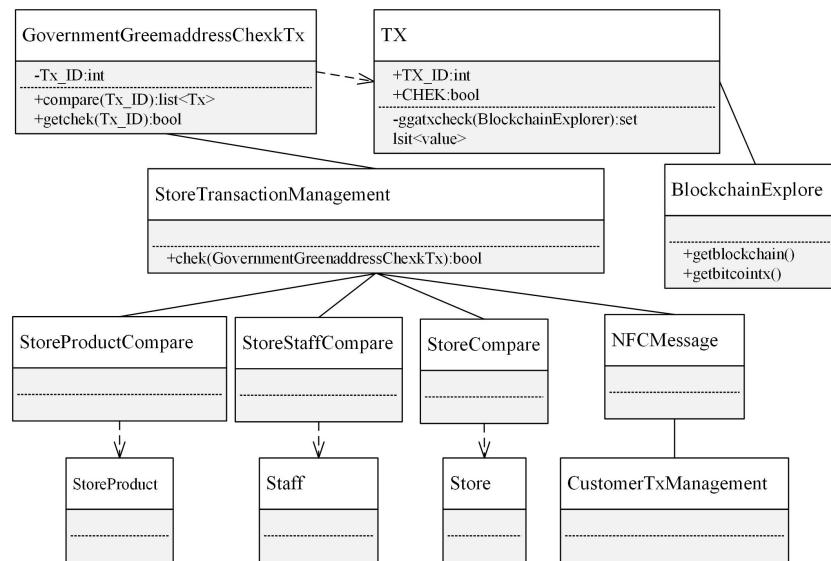


图 5.10 商家 Government Green Address 交易管理模塊類圖

(五) 顧客交易管理模塊

在本系統中顧客需要在手持移動端安裝手機程序包括顧客交易管理模塊，使得顧客移動裝置可以支持比特幣支付、查詢過去的交易信息、以 NFC 通信協議接收商家交

易管理模塊創建的交易信息以及詳細的商家商品信息。圖5.11為顧客交易管理模塊類圖，在 CustomerTxManagement 類中包括六個方法分別為顯示所有該用戶擁有比特幣交易信息相關的交易明細的 showtx() 方法、取得交易信息後取得相對應的商家產品信息的 showstoreproduct() 方法、檢查於交易信息表中的交易信息 CHECK 欄位得值是否已經被填入"1" 的 check() 方法、發送詳細的交易信息至交易信息表保存的 sendtx2table() 方法、透過 NFC 協議接收於 StoreTransactionManagement 類所創建的交易信息以及發送用戶比特幣地址的 nfc() 方法，最後控制比特幣錢包的 bitcoinpayment() 方法。CheckTx 類中的 getcheck() 方法可以向 Tx 類詢問該筆交易是否已經得到認證，TxCompare 類中的 compare() 方法提供用戶向交易信息表查找與用戶交易信息相關的交易，TransferTx 類中的 sendtx() 方法是將顧客完成交易的交易信息提交到交易信息表，BitcoinPay 類使用 pay() 方法支付比特幣，NFCMessage 類中的 recivenfcmessage() 和 sendnfcmessage() 分別為透過 NFC 協議發送以及接收交易信息和顧客比特幣地址。StoreProductCompare 類則是向 StoreProduct 類請求顧客移動裝置中所有交易信息中相關的商家商品。

圖5.12為顧客交易管理時序圖，以下為流程說明：

1. 顧客啟動比特幣錢包管理模塊，屆時比特幣錢包管理模塊在同步最新的區塊鏈信息至手機本地端，並將與手機本身存在的比特幣地址進行核對。
2. 將所有在比特幣錢包模塊的地址提交到顧客管理模塊。
3. 顧客交易管理模塊將所有拿到的比特幣地址發送到交易信息表，請求完整的交易信息內容。
4. 交易信息表將概要的交易信息傳回顧客交易管理，屆時的交易信息並非相當完整，只有商家產品編號。
5. 為了使得交易信息更加的完整可以顯示更多的商家產品說明，便將手機本地端數據庫存在的商家產品編號向商家產品信息表提出請求更詳細的說明。
6. 商家產品信息表傳回詳細的商家產品信息到顧客交易管理模塊。
7. 顧客交易管理模塊將收到的信息顯示在畫面上。
8. 當顧客前往商家時，商家掃描完所有顧客預購買的商家比特幣地址、商家商品、數量、價格以及應付金額之後，便商家商家交易管理啟動 NFC 準備等待顧客的手持裝置進行信息傳輸，此時的顧客將手持裝置與商家手持裝置靠近。
9. 商家管理模塊透過 NFC 將交易清單信息傳送到顧客交易管理模塊。
10. 在商家交易管理模塊重送的交易清單信息當中，包括商家的比特幣地址信息與應付金額，此時顧客交易管理模塊將比特幣地址信息傳送到比特幣錢包模塊。
11. 在比特幣錢包模塊當中使用 secp256k1 算法簽署比特幣交易信息，並將交易信息廣播到比特幣網路當中，此時該筆交易信息會盡到比特幣網路中的交易緩存等待

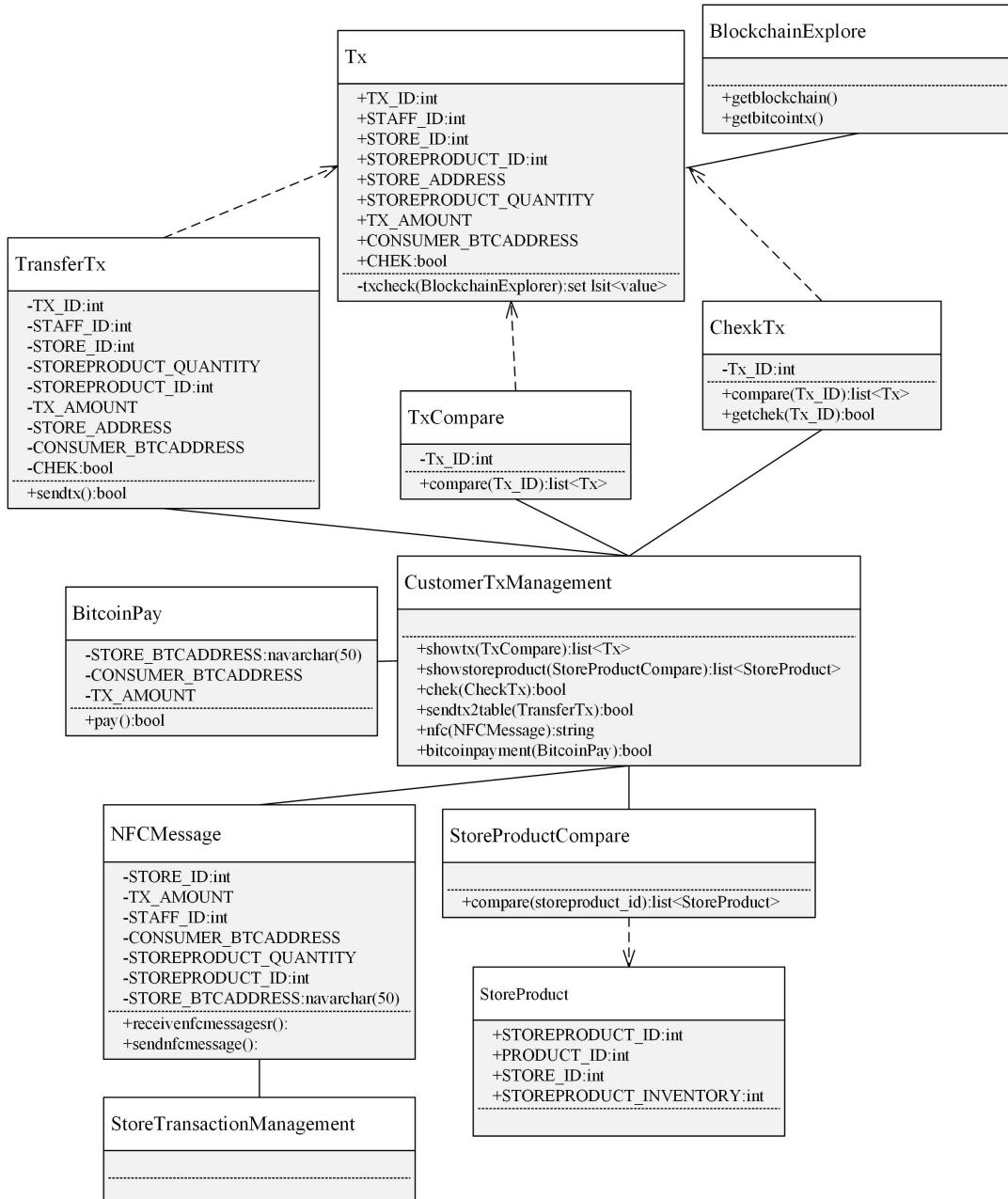


图 5.11 顧客交易管理模塊類圖

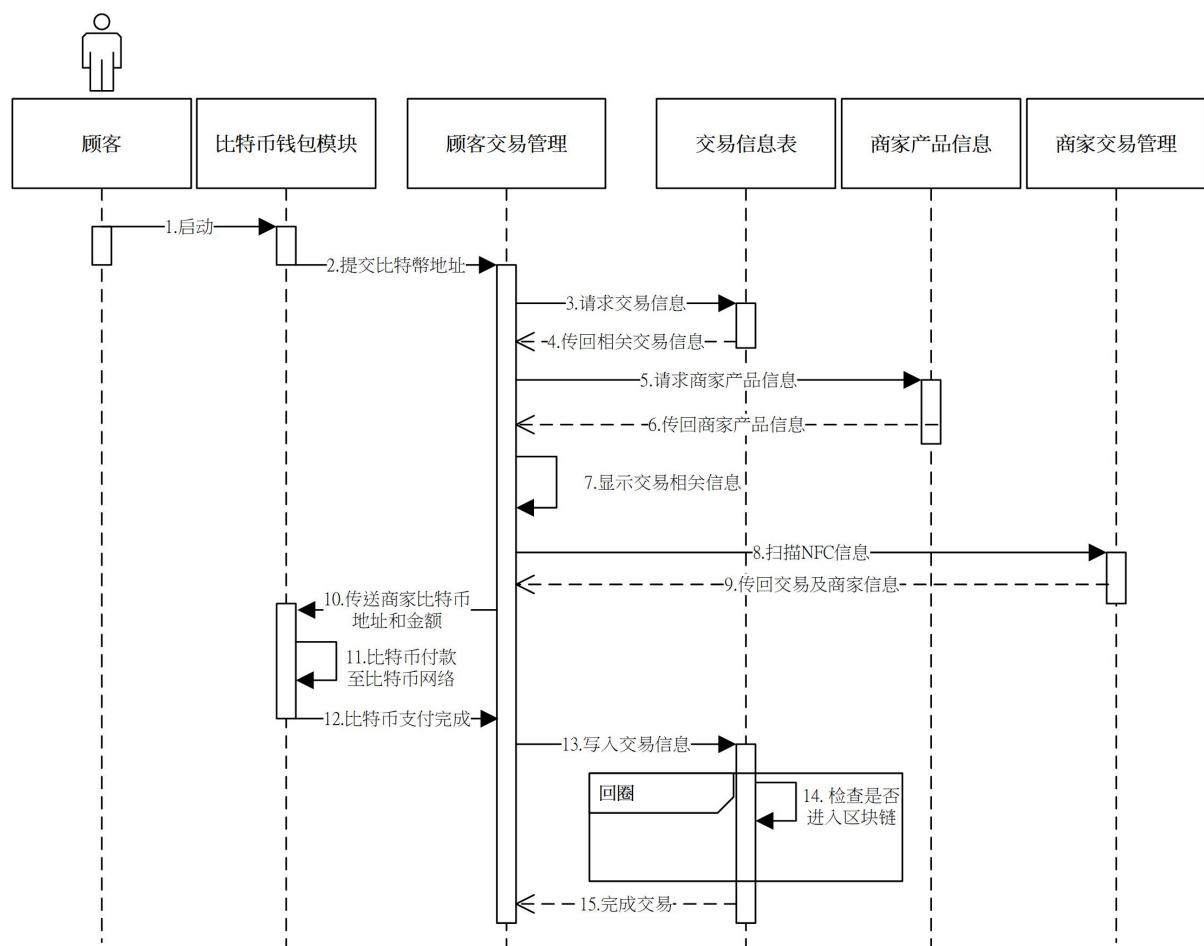


图 5.12 顧客交易管理時序圖

比特幣網路中的礦工解出工作量證明的問題，將該筆交易信息存儲到比特幣區塊鏈。

12. 在完成比特幣簽名後，會生成比特幣的交易哈希值，比特幣錢包管理模塊將比特幣交易哈希值傳送到顧客交易管理模塊。
13. 顧客交易管理模塊請求交易信息表將比特幣交易哈希值寫入。
14. 完成寫入後，交易信息表模塊會掉用比特幣區塊鏈檢視器的相關函數，不斷檢查該筆比特幣交易是否已經從未確認交易轉變成已確認交易。倘若發現已經確認，則將交易信息表中 CHECK 欄位的信息從"0" 修改為"1"。
15. 發現交易信息中的 CHECK 值為"1" 之後，變發送完成交易的信息到顧客交易管理模塊。

圖5.13為 BRTMS 中的顧客 Government Green Address 交易管理模塊類圖，以下將說明採用 Government Green Address 與未採用 Government Green Address 技術的顧客交易管理類圖設計之間的差異。於 Tx 類中添加 ggacheck() 方法，該方法可以不斷檢查交易信息表中的交易是否來自 Government Green Address 地址，倘若是則不需要等待區塊鏈的驗證時間可以即刻認定該筆交易為有效，快速提交比特幣交易速度。GovernmentGreenaddressCheck 類中 compare() 方法是為了查找與 Tx_ID 相符的交易信息，getchek() 方法則是向交易信息表中詢問符合 Tx_ID 的交易信息是否已經被修改為"1"。其中 GovernmentGreenaddressBitcoinPay 類中的 multiplesignature() 方法可以實現多重簽章算法，使得本系統可以支持即時交易。governmentgreedaddresspay() 方法是將多重簽名的算法廣播報導比特幣網路。

5.3 系統實現

為了驗證和證明所提議的 BTMS 用於比特幣支付收款監督的可行性和有效性，將其運行在用於商家商品管理和維護的 Java 應用程序的 SMIMSS 子系統，用於商家職工的運行在 Android App 上的 SMCTSS 以及運行在 App 上的用於客戶的 CMPTSS。如圖5.14所示，SMIMSS 的 Java 應用程序可以幫助商家登錄到系統或創建一個新帳戶。授權商家成功登錄系統後，商家可以插入或更新產品列表，如圖5.15所示。實現的 SMIMSS Java 應用程序執行前面部分中所述的功能。

商家的產品信息可以通過 RFID 標籤掃描，存儲到雲端數據庫中，商家職工可以使用實現的 SMCTSS Android 客戶端，啟用 NFC 監聽器，從購物車中的客戶購買產品中讀取 RFID 標籤信息。在如圖5.16所示的第一項活動中，商家職工必須登錄才能獲得授權訪問 SMCTSS 功能。然後，在第二項活動中，SMCTSS 應用程序可以通過使用 SMIMSS 中應用的雲數據庫檢查產品 RFID 標籤信息並將其展示給客戶，從而將掃描

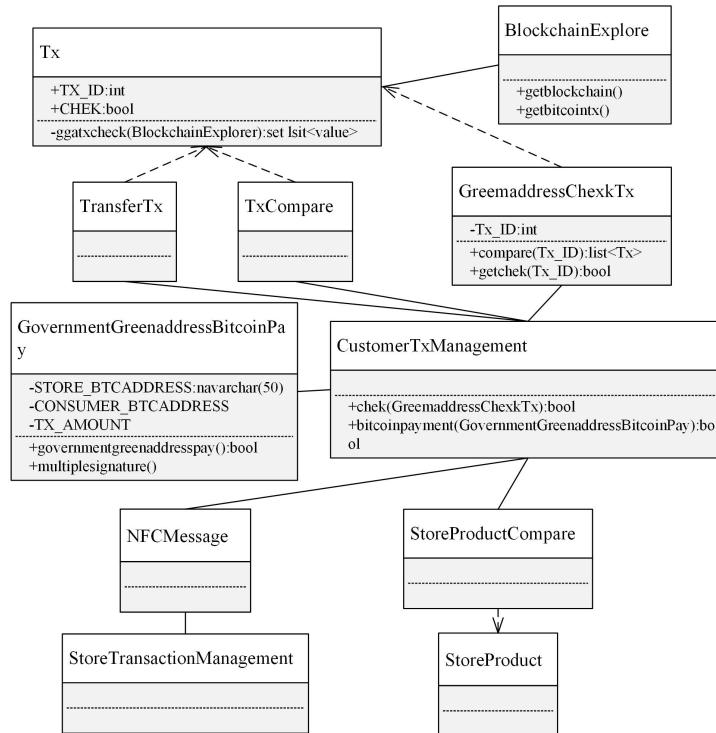


图 5.13 顧客 Government Green Address 交易管理模塊類圖

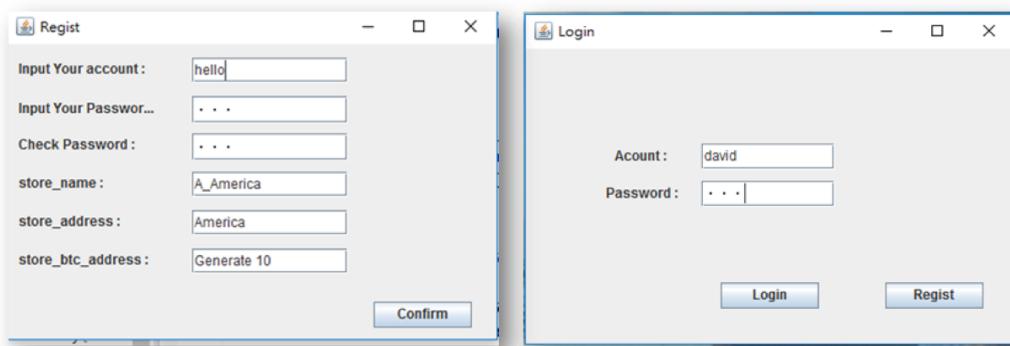


图 5.14 SMIMSS 的 Java 應用程序的註冊和登錄界面

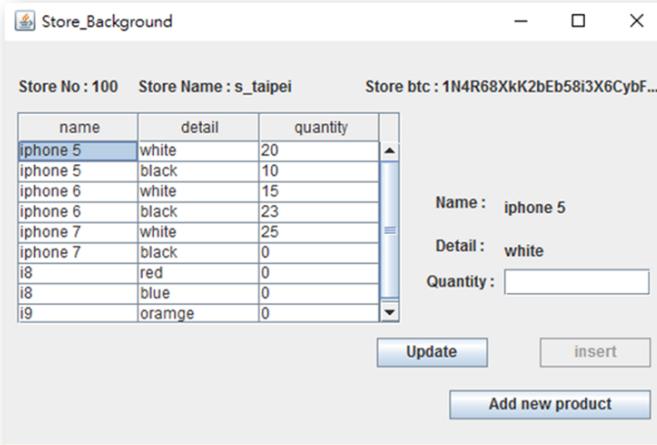


图 5.15 在 SMIMSS 中插入或更新授權商家的產品目錄

的產品列入購物車。在圖5.16的第三項活動中，顧客可以要求職工取消購買物品以確認最終購買。最後，SMCTSS 應用程序將自動使用比特幣測試網絡（Bitcoin Testnet）^[60] 幫助職工確認發布此加密貨幣交易的收款人地址，如圖5.16所示。

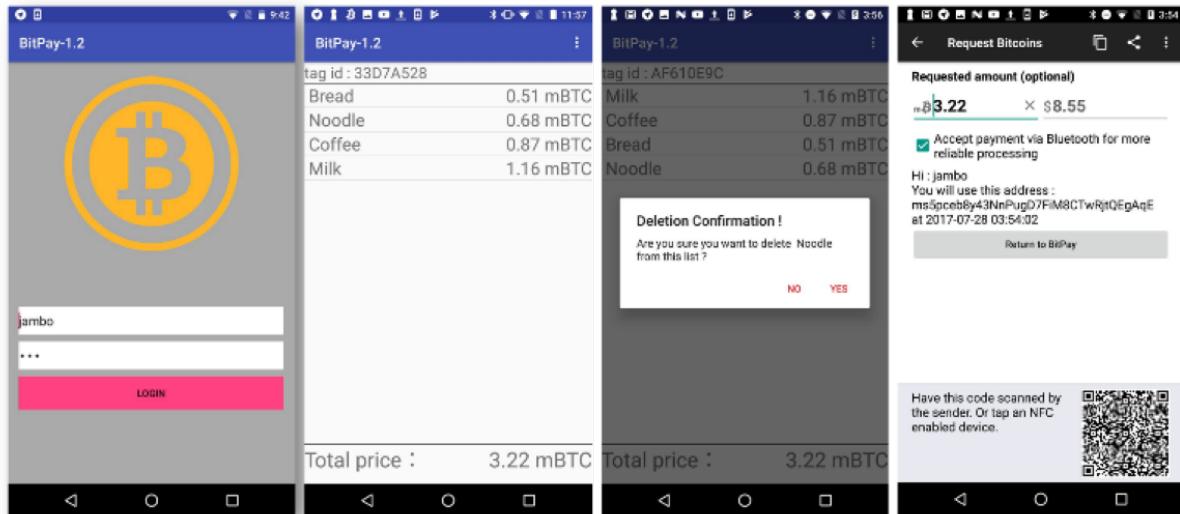


图 5.16 登錄、等待結帳的商品、刪除商品及支付確認

同時，客戶將使用與 SMCTSS App 相對應的 CMPTSS Android App 通過比特幣加密貨幣完成採購產品交易。如圖5.17所示，第一個活動表示顧客確認購買產品創建交易數據庫的交易清單，第二個活動顯示包括金額和付款人比特幣地址在內的付款確認，第三個活動顯示交易歷史記錄的交易作為買方甚至是賣方，最後在第四項活動中顯示了該筆交易詳細採購產品的發票。

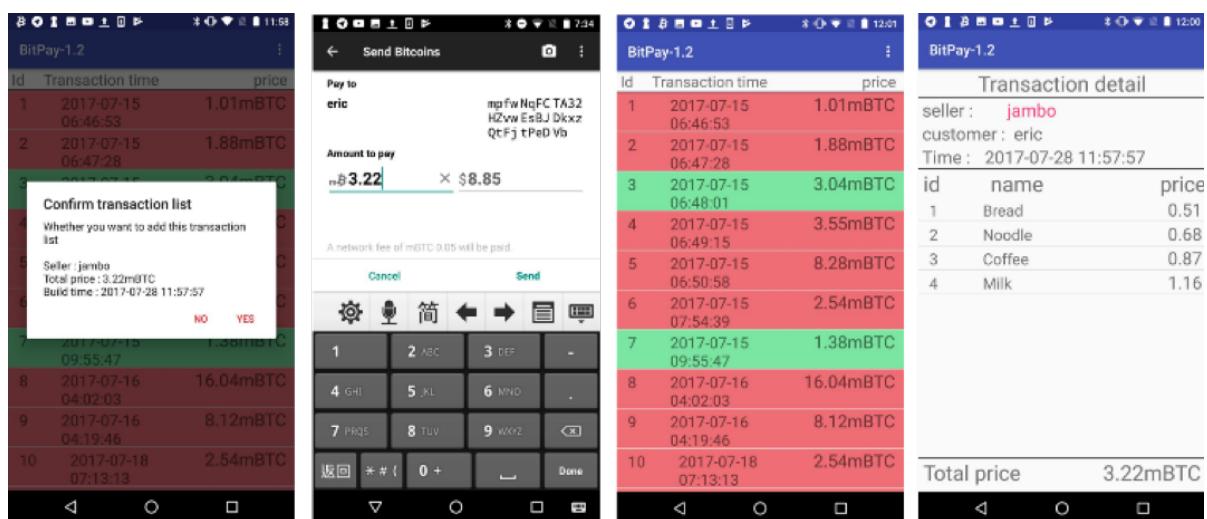


图 5.17 在 CMPTSS App 中，交易確認，付款確認、交易歷史記錄和發票

第六章 系統測試

於本章將進行功能測試與性能測試，執行功能測試已確認本文所提出之系統的所有功能是否皆順利運行，透過性能測試可知本系統的交易速度在優化前與優化後之間的差異。

6.1 功能測試

本段主要是描述比特幣的交易監督系統的測試計畫。確認在系統集成前，必須先確認所有的設計元件均可正確的輸出，在此著重於集成系統測試 (Integration Test) 及驗收測試 (Acceptance Test)。本章節內容將依據系統需求規格書與系統設計，描述關於集成測試的相關計畫與內容。並希望透過此章節之描述與實踐，達到順利進行測試工作之目的。

1. 接受標準：本測試計畫需要滿足下列的測試接受準則：
 - (a) 本系統需要對所有列為必要 (Critical、Important、Desirable) 之需求作完整測試。
 - (b) 測試程序需要依照本測試計畫所訂定的程序進行，所有測試結果需要能符合預期測試結果方能接受。
 - (c) 以測試案例為單位，當測試未通過時，需要進行該單元的測試，其接受的準則與前一項規定相同。
2. 測試環境說明包括所採用的硬件與軟件規格，分別如下：
 - (a) 硬件規格分為系統主機以及週邊設備：
 - i. 系統主機：一台以上主機，每台主機 CPU 為 Intel P4 1.0GHz 或以上，256 MB RAM 或以上，60G 以上硬碟空間。
 - ii. 周邊設備：一台以上智慧型手機，與用來代表虛擬商品的數個 RFID 標籤；已可供測試 NFC 用的智慧型手機包含小米 3 WCDMA 版，詳細規格於表6.1，Google Nexus 5X，詳細規格於表6.2。
 - (b) 軟件規格：關於測試環境所需的軟體規格說明，如下列所示：作業系統：Windows 10、Android 6.0.1/7.1.1
3. 測試地點：在銘傳大學桃園校區資工系實驗室，透過 Android 手機進行的交易模擬實驗，測試環境如圖4.6的示意。
4. 測試時間：

表 6.1 小米 3 手機規格

| | |
|------|--|
| 系統頻率 | GSM 四頻、WCDMA |
| 作業系統 | Android 4.3 |
| 處理器 | Qualcomm Snapdragon 800 2.3 GHz 四核心 |
| 記憶體 | 2GB RAM、16GB ROM |
| 記憶卡 | 不支援 |
| 顯示螢幕 | 5 吋 1670 萬色 IPS(1920×1080 pixels)、441ppi |
| 相機 | 1300 萬畫素 (F2.2、28mm)、200 萬副鏡頭、1080p |
| 電池 | 3050 mAh(不可換) |
| 尺寸 | 144x73.6x8.1mm |
| 重量 | 145g |

表 6.2 Google Nexus 5X 手機規格

| | |
|------|--|
| 系統頻率 | GSM 四頻、WCDMA |
| 作業系統 | Android 6.0 |
| 處理器 | Qualcomm Snapdragon 800 1.8 GHz 六核 |
| 記憶體 | 2GB RAM、16GB ROM |
| 記憶卡 | 不支援 |
| 顯示螢幕 | 5 吋 1670 萬色 IPS(1920×1080 pixels)、441ppi |
| 相機 | 1300 萬畫素 (F2.2、28mm)、200 萬副鏡頭、1080p |
| 電池 | 2,700 mAh(不可換) |
| 尺寸 | 147x72.6x7.9mm |
| 重量 | 136g |

- (a) 各子系統之內部元件集成測試 (Module Test)(2017/2/25 2017/6/8)
- (b) 比特幣的交易監督系統集成測試 (Integration Test) (2017/6/8 2017/6/21)
- (c) 比特幣的交易監督系統接受度測試 (Acceptance Test) (2017/7/10 2017/7/21)

5. 查核點：

- (a) 各子系統之內部元件集成測試 (2017/5/10)
- (b) 比特幣的交易監督系統集成測試 (2017/7/1)
- (c) 比特幣的交易監督系統接受度測試 (2017/7/1)

6. 集成測試規劃 (Integration Testing) :

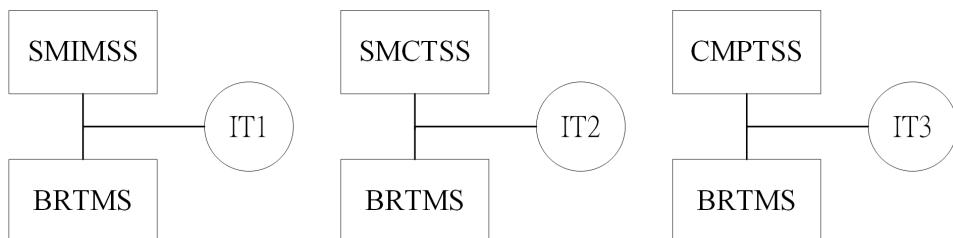


图 6.1 集成子系統測試

7. 驗收測試規劃 (Acceptance Testing, AT)：本系統須達成以下三組接受用例陳列的所有功能，測試本論文搭設計與搭建的系統功能是否能夠順利運行。測試的角色有兩個，分別為管理員以及使用者，如圖6.2為 BTMS 用例示意圖，預計測試服務器的組態設定、手機的組態設定以及數據庫的組態設定：

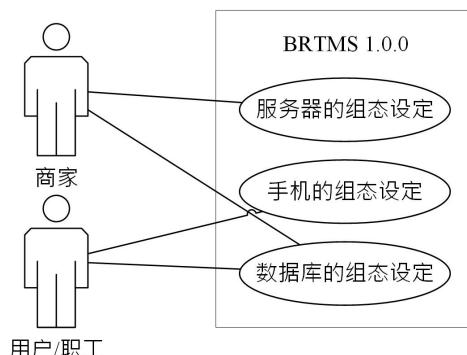


图 6.2 BTMS 使用者用例圖

圖6.3為三組驗收測試的示意圖，對本比特幣的交易監督系統進行測試。

6.1.1 测试用例

1. 集成測試 (Integration Test)

- (a) IT1 測試用例：表6.3為 IT1 測試用例，測試對象為商家端建置與管理商品資訊子系統。目的：驗證〔SMIMSS 1.1.0〕子系統能否正確管理商品資訊。

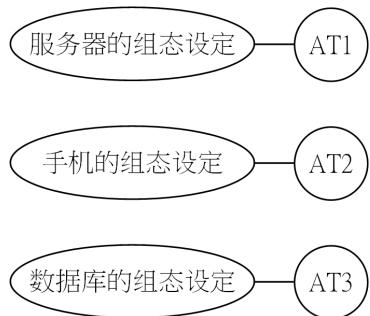


图 6.3 验收测试 (Acceptance Testing)

表 6.3 IT1 测试用例

| | |
|---------|---|
| 用例 ID | IT1 |
| 用例名稱 | 集成 SMIMSS 至 BTMS |
| 測試目標 | [SMIMSS 1.1.0]、[BTMS 1.0.0] |
| 依賴關係 | SMIMSS-F-001~ SMIMSS-F-005 |
| 嚴重程度 | 1(Critical) |
| 用例描述 | 1. 能夠新增店家帳戶 2. 能夠新增/修改/刪除店員帳戶 3. 能夠新增/刪除/修改商品資訊 4. 能夠取得產品資訊 5. 能夠接收交易資訊 |
| 預期結果 | 1. 成功新增店家帳戶 2. 成功新增/修改/刪除店員帳戶 3. 成功新增/修改/刪除商品資訊 4. 成功取得產品資訊 5. 成功接收交易資訊 |
| Cleanup | 無 |

- (b) IT2 測試用例：表6.4為IT2測試用例之目標，測試對象為商家端行動收銀與交易明細系統。目的：驗證〔SMCTSS 1.2.0〕子系統是否能夠完成一筆行動支付之交易。

表 6.4 IT2 測試用例

| | |
|---------|--|
| 用例 ID | IT2 |
| 用例名稱 | 集成 SMCTSS 至 BTMS |
| 測試目標 | [SMCTSS1.2.0]、[BTMS 1.0.0] |
| 依賴關係 | SMCTSS-F-001~ SMCTSS-F-007 |
| 嚴重程度 | 1(Critical) |
| 用例描述 | 1. 能夠登入店員帳戶 2. 能夠掃描 NFC 標籤 3. 能夠讀取商品資訊 4. 能夠建立交易清單 5. 能夠傳送交易資訊 6. 能夠認證交易資訊 7. 能夠儲存交易明細 |
| 預期結果 | 1. 成功登入店員帳戶 2. 成功掃描 NFC 標籤 3. 成功讀取商品資訊 4. 成功建立交易清單 5. 成功傳送交易資訊 6. 成功認證交易資訊 7. 成功儲存交易明細 |
| Cleanup | 無 |

- (c) IT3 測試用例：表6.5為IT3測試用例，目標檢測對象為顧客端行動支付與交易明細系統。目的：驗證〔CMPTSS1.3.0〕能正確接收SMCTSS所傳送的交易資料，並以其交易資訊執行以比特幣付款之動作。可以查詢商品資訊，且能夠儲存並且查看使用者過往之交易紀錄。

2. 驗收測試用例（Acceptance Testing Cases）：驗收測試用例目的在於測試母系統BTMS、子系統SMIMSS、SMCTSS與CMPTSS是否能夠順利的進行信息傳遞完成交互。

- (a) AT1 測試用例：表6.6所示，目標測試管理人員是否能夠順利使用子系統SMIMSS順利與母系統BTMS交互。目的：驗證使用用例（Use case）1，透過組態檔案的修改對伺服器進行組態設定。
- (b) AT2 測試用例：如表6.7所示，參與者為使用者。目的：驗證用例（Use case）2透過組態檔案的修改對手機進行組態設定。
- (c) AT3 測試用例：如表6.8所示，目的：驗證用例（Use case）3，透過組態檔

表 6.5 IT3 测试用例

| | |
|---------|---|
| 用例 ID | IT3 |
| 用例名稱 | 集成 CMPTSS 至 BTMS |
| 測試目標 | [CMPTSS 1.3.0]、[BTMS 1.0.0] |
| 依賴關係 | CMPTSS-F-001~ CMPTSS-F-007 |
| 嚴重程度 | 1(Critical) |
| 用例描述 | 1. 能夠登入客戶帳號 2. 能夠讀取商品資訊 3. 能夠接收交易清單 4. 能夠認證交易資訊 5. 能夠執行行動支付 6. 能夠儲存交易明細 7. 能夠查看交易紀錄 |
| 預期結果 | 1. 成功登入客戶帳號 2. 成功讀取商品資訊 3. 成功接收交易清單 4. 成功認證交易資訊 5. 成功執行行動支付 6. 成功儲存交易紀錄 7. 成功查看交易紀錄 |
| Cleanup | 無 |

表 6.6 AT1 测试用例

| | | | | | | | |
|-------------------------|---|-------|------|-------------------------|--|--|----------------------------------|
| 用例 ID | AT1 | | | | | | |
| 用例名稱 | 伺服器的組態設定 | | | | | | |
| 測試目標 | [SMIMSS 1.1.0] [BTMS 1.0.0] | | | | | | |
| 依賴關係 | BTMS-F-001 | | | | | | |
| 嚴重程度 | 1 | | | | | | |
| 用例描述 | <table border="1"> <tr> <td>使用者操作</td> <td>系統響應</td> </tr> <tr> <td>1. 管理人員依照環境 設定伺服器組態。</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>2. 伺服器依照管理人 員所做的組態設定 啟動服務。</td> </tr> </table> | 使用者操作 | 系統響應 | 1. 管理人員依照環境 設定伺服器組態。 | | | 2. 伺服器依照管理人 員所做的組態設定 啟動服務。 |
| 使用者操作 | 系統響應 | | | | | | |
| 1. 管理人員依照環境 設定伺服器組態。 | | | | | | | |
| | 2. 伺服器依照管理人 員所做的組態設定 啟動服務。 | | | | | | |
| 預期結果 | 成功啟動伺服器的相關服務。 | | | | | | |
| Cleanup | 無 | | | | | | |

表 6.7 AT2 測試用例

| | | |
|---------|----------------------------------|--------------------------|
| 用例 ID | AT2 | |
| 用例名稱 | 手機的組態設定 | |
| 測試目標 | [SMCTSS 1.2.0] [CMPTSS 1.3.0] | |
| 依賴關係 | BTMS-F-002~ BTMS-F-003 | |
| 嚴重程度 | 1 | |
| 用例描述 | 使用者操作 | 系統響應 |
| | 1. 使用者修改手機組態設定參數。 | 2. 手機依照使用者在設定檔中所填入的數值運作。 |
| 預期結果 | 成功完成手機的組態設定 | |
| Cleanup | 無 | |

案的修改對資料庫進行組態設定。

表 6.8 AT3 測試用例

| | | |
|---------|--|--------------------------|
| 用例 ID | AT3 | |
| 用例名稱 | 資料庫的組態設定 | |
| 測試目標 | [SMIMSS 1.1.0] [SMCTSS 1.2.0] [CMPTSS 1.3.0] | |
| 依賴關係 | BTMS-F-001~ BTMS-F-003 | |
| 嚴重程度 | 1 | |
| 用例描述 | 使用者操作 | 系統響應 |
| | 1. 管理者設定資料庫組態。 | |
| | | 2. 資料庫依照管理人員所做的組態設定啟動服務。 |
| | 3. 使用者修改資料庫之資料及檔案。 | 4. 資料庫依照使用者所做的組態設定啟動服務。 |
| 預期結果 | 成功設定完成資料庫的相關設定。 | |
| Cleanup | 無 | |

6.1.2 測試結果和分析

- 集成測試用例（Integration Testing Cases）表6.9為 IT 1、為 IT 2、為 IT 3 的集成子系統測試結果，皆順利運作。

表 6.9 集成子系統測試結果

| 测试用例 | 結果(通過/不通過) | Comment |
|------|------------|--|
| IT1 | 通過 | 1. 成功新增店家帳戶 2. 成功新增/修改/刪除店員帳戶 3. 成功新增/修改/刪除商品資訊 4. 成功取得產品資訊 5. 成功接收交易資訊 |
| IT2 | 通過 | 1. 成功登入店員帳戶 2. 成功掃描 NFC 標籤 3. 成功讀取商品資訊 4. 成功建立交易清單 5. 成功傳送交易資訊 6. 成功認證交易資訊 7. 成功儲存交易明細 |
| IT3 | 通過 | 1. 成功登入客戶帳號 2. 成功讀取商品資訊 3. 成功接收交易清單 4. 成功認證交易資訊 5. 成功執行行動支付 6. 成功儲存交易紀錄 7. 成功查看交易紀錄 |
| RATE | 90% | BTMS 開發透過手機讓商家及顧客以手機傳送交易資訊，如：商品名稱、商品金額，商家收款地址。並且及時將商品資訊更新至伺服器之資料庫，以便商家控管商品資訊狀態，同時讓顧客可以享受數位加密貨幣的方便性。 |

- 驗收測試用例（Acceptance Testing Cases）表6.10為前節所設計的三種 AT 1、AT 2 與 AT 3 的驗收測試結果，皆順利運行。
- 可追蹤性（Traceability）
 - 子系統與測試用例：表6.11為測試組 IT 1、IT 2、IT 3、AT 1、AT 2、AT 3 與子系統 SMIMSS、SMCTSS、CMPISS 的關係表。
 - 需求與測試用例：表6.12為本系統需求與集成測試用例的關係表，表6.13為需求與驗收測試案例的關係表。

表 6.10 驗收測試結果

| 測試用例 | 結果(通過/不通過) | Comment |
|------|------------|-------------------------------|
| AT1 | 通過 | 成功啟動伺服器的相關服務。 |
| AT2 | 通過 | 成功完成手機的組態設定。 |
| AT3 | 通過 | 成功設定完成資料庫的相關設定。 |
| Rate | 100% | BTMS 可透過組態設定的方式來設定各個子系統的環境參數。 |

表 6.11 子系統與測試用例關係表

| | SMIMSS 1.1.0 | SMCTSS 1.2.0 | CMPISS 1.3.0 |
|-----|--------------|--------------|--------------|
| IT1 | X | | |
| IT2 | | X | |
| IT3 | | | X |
| AT1 | X | | |
| AT2 | | X | X |
| AT3 | X | X | X |

表 6.12 需求與集成測試用例的關係表

| | IT1 | IT2 | IT3 |
|--------------|-----|-----|-----|
| BTMS-F-001 | X | | |
| BTMS-F-002 | | X | |
| BTMS-F-003 | | | X |
| SMIMSS-F-001 | X | | |
| SMIMSS-F-002 | X | | |
| SMIMSS-F-003 | X | | |
| SMIMSS-F-004 | X | | |
| SMIMSS-F-005 | X | | |
| SMCTSS-F-001 | | X | |
| SMCTSS-F-002 | | X | |
| SMCTSS-F-003 | | X | |
| SMCTSS-F-004 | | X | |
| SMCTSS-F-005 | | X | |
| SMCTSS-F-006 | | X | |
| SMCTSS-F-007 | | X | |
| CMPTSS-F-001 | | | X |
| CMPTSS-F-002 | | | X |
| CMPTSS-F-003 | | | X |
| CMPTSS-F-004 | | | X |
| CMPTSS-F-005 | | | X |
| CMPTSS-F-006 | | | X |
| CMPTSS-F-007 | | | X |

表 6.13 需求與驗收測試案例的關係表

| | AT1 | AT2 | AT3 |
|------------|-----|-----|-----|
| BTMS-F-001 | X | | X |
| BTMS-F-002 | | X | X |
| BTMS-F-003 | | X | X |

6.2 性能測試

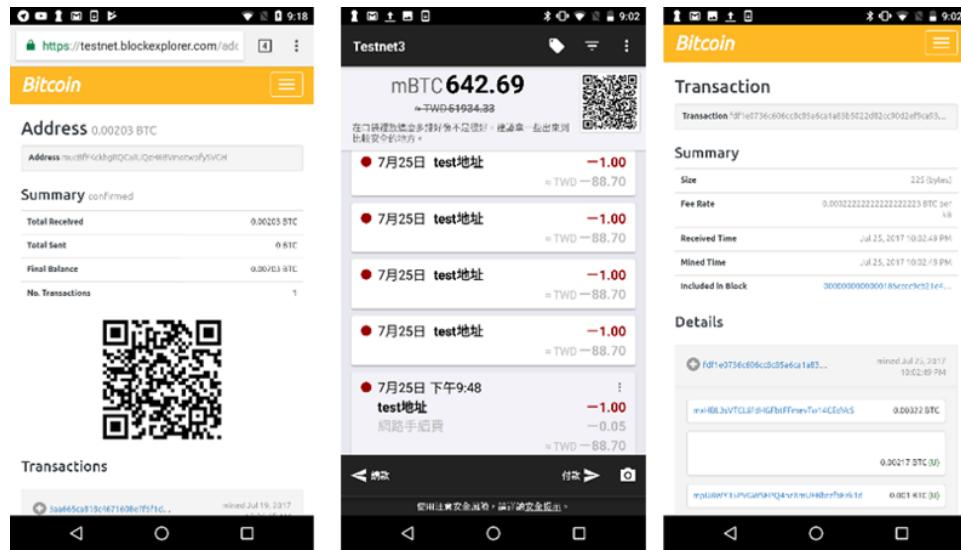


图 6.4 使用區塊鏈瀏覽器驗證存儲在比特幣區塊鏈中的交易過程

根據比特幣點對點架構，儘管客戶和商家之間的交易細節已經快速存儲到雲數據庫，但官方確認交易與當前比特幣區塊鏈的交易通常需要更長的時間，因為需要確保確認的數量在交易廣播比特幣點對點網絡並存儲到緩存池後，是否存在雙重支付。本文設計了比特幣的交易監督系統以及引用多重簽章算法重新設計的比特幣的實時交易監督系統，以下將分別針對有無採用多重簽章算法的性能測試。

6.2.1 系統性能測試

為了驗證本文提出的 BTMS 不會通過使用比特幣等加密貨幣影響交易完成時間，於 2017 年 7 月 25 日、2017 年 9 月 6 日以及 2018 年 3 月 21 日，在 Testnet 實驗中連續記錄了 20 筆交易信息，每 1 秒發出一筆交易，分別歷時 20 分鐘。

1. 初始測試 (2017 年 7 月 25 日): 首先，使用區塊鏈檢視器 (Blockchain Explorer)^[58]，如 6.4 的快照所示，透過使用 Testnet 依序進行 20 筆比特幣交易，如圖 6.4 的中間快照所示，最後 20 筆交易完成時間全部記錄在區塊鏈檢視器。實驗結果顯示，實驗中的所有交易都在 3 秒鐘左右（平均 2.97 秒，標準差小於 1 秒）發送到比特

幣網絡緩存池，平均交易完成時間在比特幣區塊鏈中確認為 522.33 秒（小於 9 分鐘），標準差大約為 339 秒。

2. 第一次測試（2017 年 9 月 6 日）：表 6.14 為第一次實驗數據，該次的比特幣交易發起廣播至比特幣交易緩存持的時間平均為 1.918 秒，標準差為 0.55586 秒。但為了預防雙重支付攻擊需要等待平均 654.8 秒（小於 11 分鐘，標準差 346.63 秒）的時間。

表 6.14 第一次 Testnet 執行實驗之數據分析 (2017 年 9 月 6 日)

| | 進入緩存池時間 (秒) | 進入區塊鏈時間 (秒) | 完成交易時間 (秒) |
|----------|-------------|---------------|---------------|
| 平均 | 1.918 | 654.8 | 654.8 |
| 樣本標準差 | 0.55586 | 346.63 | 346.63 |
| 95% 信賴區間 | 1.69~2.15 | 511.72~797.88 | 511.72~797.88 |
| 99% 信賴區間 | 1.61~2.23 | 460.9~848.7 | 460.9~848.7 |

3. 第二次測試（2018 年 3 月 21 日）：表 6.15 為第二次測試的實驗原始數據，表 6.16 為將數據進行分析後的結果可以看出，平均進入緩存持的時間為 1.12 秒，進入區塊鏈的時間為 287.12 秒，因為並未採用多重簽章算法，所以交易完成時間以 287.12 秒計算。

在未引用多重簽章算法的監督系統中，第一次與第二次的測試相比並無太大的差異，交易完成時間與比特幣區塊生成所需時間相同，平均時間皆為十分鐘。根據比特幣 Testnet 上的初步實驗結果顯示，本文提出的 BTMS 可以快速有效地執行比特幣的交易監督系統。

6.2.2 實時系統性能測試

本主要介紹比特幣測試幣於 Government Green Address 錢包進行交易的效能實驗與結果分析，包含該實驗的目的、方法及結果分析。實驗的目的是要確認的系統在商家端進行行動支付時能快速、精準且高效率的進行交易，並瞭解使用一般 Testnet 錢包與 Government Green Address 錢包作為交易媒介的確認交易時間的差距。表 6.17 為 2017 年 7 月 25 日初步的採用多重簽章算法的測試數據，數據顯示交易存儲到區塊鏈的平均時間為 10 分鐘，但 Government Green Address 採用的多重簽章算法，可以有效拒絕雙重花費的交易發起，因此可將交易的有效時間，從交易進入區塊鏈的時間，重新訂定為交易進入比特幣交易緩存持的時間。

本次的實驗分為兩部份，分別是透過比特幣 Testnet 錢包以及使用本論文所採用的 Government Green Address 比特幣錢包上執行 20 次付款，皆以相同地址收款，交易金額都設定為 0.00001BTC，實驗時間為 2017 年 9 月 6 日與 2018 年 2 月 6 日，每隔一分

表 6.15 第二次 Testnet 執行實驗數據 (2018 年 3 月 21 日)

| 交易 次數 | 付款時間 | 進入緩存池 所花時間 (秒) | 進入緩存池 時間點 | 寫入區塊鏈 所花時間 (秒) | 寫入區塊 時間點 |
|----------|---------|-------------------|--------------|-------------------|-------------|
| 1 | 0:00:00 | 3 | 0:00:03 | 136 | 0:02:16 |
| 2 | 0:01:00 | 1 | 0:01:01 | 76 | 0:02:16 |
| 3 | 0:02:04 | 3 | 0:02:07 | 12 | 0:02:16 |
| 4 | 0:03:00 | 1 | 0:03:01 | 438 | 0:10:18 |
| 5 | 0:04:00 | 1 | 0:04:01 | 378 | 0:10:18 |
| 6 | 0:05:00 | 1 | 0:05:01 | 318 | 0:10:18 |
| 7 | 0:06:00 | 2 | 0:06:02 | 258 | 0:10:18 |
| 8 | 0:07:00 | 1 | 0:07:01 | 198 | 0:10:18 |
| 9 | 0:08:00 | 1 | 0:08:01 | 138 | 0:10:18 |
| 10 | 0:09:00 | 1 | 0:09:01 | 78 | 0:10:18 |
| 11 | 0:10:00 | 1 | 0:10:01 | 18 | 0:10:18 |
| 12 | 0:11:00 | 2 | 0:11:02 | 810 | 0:24:30 |
| 13 | 0:12:00 | 1 | 0:12:01 | 750 | 0:24:30 |
| 14 | 0:13:00 | 1 | 0:13:01 | 690 | 0:24:30 |
| 15 | 0:14:00 | 1 | 0:14:01 | 630 | 0:24:30 |
| 16 | 0:15:00 | 1 | 0:15:01 | 570 | 0:24:30 |
| 17 | 0:16:00 | 2 | 0:16:02 | 510 | 0:24:30 |
| 18 | 0:17:00 | 2 | 0:17:02 | 450 | 0:24:30 |
| 19 | 0:18:00 | 1 | 0:18:01 | 390 | 0:24:30 |
| 20 | 0:19:00 | 1 | 0:19:01 | 330 | 0:24:30 |

表 6.16 第二次以 Testnet 執行實驗數據分析 (2018 年 3 月 21 日)

| | 進入緩存池時間 (秒) | 進入區塊鏈時間 (秒) | 完成交易時間 (秒) |
|----------|-------------|---------------|---------------|
| 平均 | 1.12 | 287.12 | 287.12 |
| 樣本標準差 | 0.68 | 246.59 | 246.59 |
| 95% 信賴區間 | 0.84~1.4 | 185.33~388.91 | 185.33~388.91 |
| 99% 信賴區間 | 0.74~1.5 | 149.18~425.06 | 149.18~425.06 |

表 6.17 初步的 Government Green Address 實驗測試數據 (2017 年 7 月 25 日)

| 付款時間 | 進入緩存池所花時間(秒) | 進入緩存池時間點 | 入塊時間 | 寫入區塊費時間 |
|----------|--------------|--------------|----------|---------|
| 06:36:25 | 02:14 | 06:36:27.14 | 06:52:00 | 16:25 |
| 06:38:25 | 1.075 | 06:38:26.075 | 06:52:00 | 14:25 |
| 06:40:25 | 1.722 | 06:40:26.722 | 06:52:00 | 12:25 |
| 06:42:25 | 2.953 | 06:42:27.953 | 06:52:00 | 10:25 |
| 06:44:25 | 1.511 | 06:44:26.511 | 06:52:00 | 08:25 |
| 06:46:25 | 2.269 | 06:46:27.269 | 06:52:00 | 06:25 |
| 06:48:25 | 1.831 | 06:48:26.831 | 06:52:00 | 04:25 |
| 06:50:25 | 1.227 | 06:50:26.227 | 06:52:00 | 02:25 |
| 06:52:25 | 2.026 | 06:52:27.026 | 07:12:01 | 20:24 |
| 06:54:25 | 1.257 | 06:54:26.257 | 07:12:01 | 18:24 |
| 06:56:25 | 1.511 | 06:56:26.511 | 07:12:01 | 16:24 |
| 06:58:25 | 2.815 | 06:58:27.815 | 07:12:01 | 14:24 |
| 07:00:26 | 1.544 | 07:00:27.544 | 07:12:01 | 12:25 |
| 07:02:25 | 1.767 | 07:02:26.767 | 07:12:01 | 10:24 |
| 07:04:25 | 1.52 | 07:04:26.52 | 07:12:01 | 08:24 |
| 07:06:25 | 1.953 | 07:06:26.953 | 07:12:01 | 06:24 |

鐘執行一次付款的動作，總共歷時 20 分鐘。兩款錢包同時發起交易，並透過區塊鏈檢視器進行記錄時間，最後再比較使用一般比特幣錢包及 Government Green Address 錢包兩者之間的差距。

- 第一次測試 (2017 年 9 月 6 日)：表 6.18 為第一次測試實驗的數據分析結果，平均進入交易緩存池的時間為 2.11 秒，真正寫入區塊鏈的時間為 654.24 秒，採用多重簽章算法，這些交易不存在雙重支付的問題，因此完成時間記為 2.11 秒。

表 6.18 第一次以 Government Green Address 執行實驗之數據分析 (2017 年 9 月 6 日)

| | 進入緩存池時間(秒) | 進入區塊鏈時間(秒) | 完成交易時間(秒) |
|----------|------------|---------------|-----------|
| 平均 | 2.11 | 654.24 | 2.11 |
| 樣本標準差 | 0.65 | 346.9 | 0.65 |
| 95% 信賴區間 | 1.84~2.38 | 511.05~797.43 | 1.84~2.38 |
| 99% 信賴區間 | 1.75~2.47 | 460.19~848.29 | 1.75~2.47 |

- 第二次測試 (2018 年 3 月 21 日)：表 6.19 為第二次以 Government Green Address 執行實驗數據，表 6.20 為基於第二次測試的數據分析結果，進入緩存池的平均時間為 1.55 秒，進入區塊鏈的平均時間為 431.4 秒，因為採用多重簽章算法將完成交易時間以 1.55 秒計算。

本次實驗分別記錄以 Testnet 錢包及 Government Green Address 錢包執行 20 次交易的進入緩存池等待時間和寫入區塊等待時間。若以 Testnet 錢包交易，必須等到交易寫

表 6.19 第二次以 Government Green Address 執行實驗數據 (2018 年 3 月 21 日)

| 交易 次數 | 付款時間 | 進入緩存池 所花時間 (秒) | 進入緩存池 時間點 | 寫入區塊鏈 所花時間 (秒) | 寫入區塊 時間點 |
|----------|---------|-------------------|--------------|-------------------|-------------|
| 1 | 0:00:01 | 2 | 0:00:03 | 619 | 0:10:18 |
| 2 | 0:01:00 | 1 | 0:01:01 | 559 | 0:10:18 |
| 3 | 0:02:02 | 2 | 0:02:04 | 496 | 0:10:18 |
| 4 | 0:03:00 | 1 | 0:03:01 | 438 | 0:10:18 |
| 5 | 0:04:00 | 1 | 0:04:01 | 378 | 0:10:18 |
| 6 | 0:05:00 | 2 | 0:05:02 | 318 | 0:10:18 |
| 7 | 0:06:00 | 1 | 0:06:01 | 258 | 0:10:18 |
| 8 | 0:07:00 | 1 | 0:07:01 | 198 | 0:10:18 |
| 9 | 0:08:00 | 2 | 0:08:02 | 138 | 0:10:18 |
| 10 | 0:09:00 | 2 | 0:09:02 | 78 | 0:10:18 |
| 11 | 0:10:00 | 1 | 0:10:01 | 18 | 0:10:18 |
| 12 | 0:11:00 | 2 | 0:11:02 | 810 | 0:24:30 |
| 13 | 0:12:00 | 2 | 0:12:02 | 750 | 0:24:30 |
| 14 | 0:13:00 | 1 | 0:13:01 | 690 | 0:24:30 |
| 15 | 0:14:00 | 2 | 0:14:02 | 630 | 0:24:30 |
| 16 | 0:15:00 | 1 | 0:15:01 | 570 | 0:24:30 |
| 17 | 0:16:00 | 2 | 0:16:02 | 510 | 0:24:30 |
| 18 | 0:17:00 | 2 | 0:17:02 | 450 | 0:24:30 |
| 19 | 0:18:00 | 1 | 0:18:01 | 390 | 0:24:30 |
| 20 | 0:19:00 | 2 | 0:19:02 | 330 | 0:24:30 |

表 6.20 第二次以 Government Green Address 執行實驗之數據分析 (2018 年 3 月 21 日)

| | 進入緩存池時間 (秒) | 進入區塊鏈時間 (秒) | 完成交易時間 (秒) |
|----------|-------------|---------------|------------|
| 平均 | 1.55 | 431.4 | 1.55 |
| 樣本標準差 | 0.51 | 220.84 | 0.51 |
| 95% 信賴區間 | 1.34~1.76 | 340.24~522.56 | 1.34~1.76 |
| 99% 信賴區間 | 1.26~1.84 | 307.86~554.94 | 1.26~1.84 |

入才能保證此筆交易不會被礦工遺棄，也算真的完成這筆交易；但若以 Government Green Address 錢包發起交易就大不相同，當交易進入緩存池，即使遇到交易被礦工遺棄的情況，Government Green Address 機構節點也會重新發起此筆交易，保證讓交易寫入區塊，所以只要進入緩存池就可以視為交易完成，透過兩者錢包的交易數據，本文分析兩種錢包交易的時間數據。

表 6.21 原始系統與實時系統比較表

| | 完成交易時間 (秒) |
|------------|------------|
| 原始系統交易平均時間 | 287.12 |
| 實時系統交易平均時間 | 1.55 |

透過本次的實驗可以發現雖然以兩種錢包交易進入區塊的等待時間完全相同，但因為 Government Green Address 錢包的特性，只要進入緩存池就算完成交易確認，因此 Government Green Address 錢包的完成交易確認的時間遠遠快於一般 Testnet。相信以此方式作為主要支付管道，可以省去顧客在現金支付時掏零錢、算錢及找零等繁瑣的動作及時間，以此達成提升日常生活中的便利性與安全性。

第七章 总结与展望

設計並實現一個名為 BRTMS 的比特幣的實時交易監督系統，其工作包括背景調研比特幣技術上的優勢與劣勢、匿名交易衍生出無法保障顧客權益、政府無法課徵稅收及存在著透過比特幣洗錢的問題。為解決上述問題，在技術調研方面針對比特幣地址的相關算法、地址的生成過程、多重簽章算法以及區塊鏈技術進行剖析。設計系統之前得進行詳細的需求分析以及交易模型分析。設計 BRTMS 時，加入 Government Green Address 使該系統成為實時監督系統，並實現 BTMS 與 BRTMS 的客戶端與服務器端，最後對 BTMS 進行功能性測試和性能測試。性能測試的成果中可知 BRTMS 比 BTMS 的交易完成時間從平均 287.12 秒縮減至 1.55 秒，達到更好的顧客消費體驗。

在 BRTMS 中，顧客交易信息是匿名且公開透明，同時保障顧客消費權益；商家可以根據所有數字化交易信息為自己的業務目的進行統計和計算，減少手動操作計算結果中的錯誤。統計數據甚至可以與商家的庫存管理相結合，使貨物和資金更加便利地進行統計，進一步改善信息的準確性和降低人工成本；政府在解決交易糾紛的過程中擁有更多可信的證據供參考。數字交易收據也可以解決紙本收據丟失或破損的問題。

BRTMS 不僅兼顧顧客和商家同時協助府金融監督單位審計加密貨幣交易籌集稅收。本系統中以 bitcoinj 實作的 Java 應用程序和 Android 應用程序客戶端，修改其在 Android 系統上的開放原始碼應用程式，使得本論文闡述之概念能夠實際在區塊鏈上運行，未來加密貨幣不僅能維持目前的便利性，還可以讓使用者不用擔心交易後找不到賣家，使一般民眾能更安心使用加密貨幣作為日常生活的行動支付管道。本文提出的 BRTMS 架構還包括以下特色如下：

1. 引入匿名支付給實名的交易模型至加密貨幣交易系統。
2. 設計與實現於加密貨幣中匿名支付給實名的交易監督系統。
3. 於政府端實現多重簽章算法，使實時的交易監督比 Green Address 節點更快速。
4. 透過多重簽章算法使得商家可以預防雙重支付攻擊。
5. 商家商品管理讓商家可進行庫存管理及商家商品管理。
6. 實現於加密貨幣中，消費者匿名同時也讓消費者擁有消費者權益。
7. 藉由將商家實名，BRTMS 使政府主管機關可以有效獲得稅收。

参考文献

- [1] Charlie Lee. *Litecoin Official website*, 2011. <https://litecoin.org>.
- [2] Billy Markus. *DogeCoin*, 2013-12. <http://dogecoin.com>.
- [3] Daniel Kraft. *Namecoin*, 2011-04. <https://namecoin.org>.
- [4] Sunny King. *Primecoin*, 2013-07. <http://primecoin.io/>.
- [5] Constantine Kryvomaz. *Ethereum Classic*, 2015-07. <https://ethereumclassic.github.io/>.
- [6] Ethereum Foundation Vitalik Buterin. *Ethereum*, 2015-07. <https://ethereum.org>.
- [7] *solidity*. <https://solidity.readthedocs.io/en/develop/>.
- [8] Gavin Wood. “*Ethereum: A secure decentralised generalised transaction ledger*”. *Ethereum Project Yellow Paper*, 2014, 151: 1–32.
- [9] Rainer Böhme, Nicolas Christin, Benjamin Edelman et al. “*Bitcoin: Economics, technology, and governance*”. *Journal of Economic Perspectives*, 2015, 29(2): 213–38.
- [10] *Cryptocurrency Market Capitalizations*. <https://coinmarketcap.com/all/views/all/>.
- [11] John Gregor Fraser and Ahmed Bouridane. *Have the security flaws surrounding BITCOIN effected the currency's value?*, 2017: 50–55.
- [12] Kyle Torpey. “*You Really Should Run a Bitcoin Full Node: Here's Why*”. *Bitcoin Magazine*, 2017.
- [13] 蔡怡杼. 银行员监守自盗手法有这些, 2017-10. <https://www.nownews.com/news/20171029/2633984>.
- [14] CM Adams and SE Tavares. *The use of bent sequences to achieve higher-order strict avalanche criterion in S-box design* [techreport], 1990.
- [15] *Bitcoin Improvement Proposals*. <https://github.com/bitcoin/bips/blob/master/README.mediawiki>.
- [16] *Western Union*. <https://www.westernunion.com/us/en/home.html>.
- [17] *PayPal*. [https://www.paypal.com/](https://www.paypal.com).
- [18] *Digibyte*. <https://www.digibyte.io/>.
- [19] blockchain.info. *Blockchain Size*, 2018. <https://blockchain.info/charts/blocks-size?timespan=all>.
- [20] J Göbel and AE Krzesinski. “*Increased block size and Bitcoin blockchain dynamics*”. In: *Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), 2017 27th International*, 2017: 1–6.
- [21] Shen Noether and Sarang Noether. “*Monero is not that mysterious*”. *Technical report*, 2014.
- [22] Emmanuel Bresson, Jacques Stern and Michael Szydlo. “*Threshold ring signatures and applications to ad-hoc groups*”. In: *Annual International Cryptology Conference*, 2002: 465–480.
- [23] Ming Zhong. “*A faster single-term divisible electronic cash: ZCash*”. *Electronic Commerce Research and Applications*, 2002, 1(3-4): 331–338.

- [24] Uriel Feige, Amos Fiat and Adi Shamir. “Zero-Knowledge Proofs of Identity”. *J. Cryptology*, **1988**, 1(2): 77–94. <https://doi.org/10.1007/BF02351717>.
- [25] Thibault de Balthasar and Julio Hernandez-Castro. “An Analysis of Bitcoin Laundry Services”. In: *Nordic Conference on Secure IT Systems*, **2017**: 297–312.
- [26] Ayush Singh Panwar. “Asymmetric Key Cryptography”. *Browser Download This Paper*, **2014**.
- [27] Taher ElGamal. “A public key cryptosystem and a signature scheme based on discrete logarithms”. *IEEE transactions on information theory*, **1985**, 31(4): 469–472.
- [28] Andrew Miller and Joseph J LaViola Jr. “Anonymous byzantine consensus from moderately-hard puzzles: A model for bitcoin”. Available on line: <http://nakamotoinstitute.org/research/anonymous-byzantine-consensus>, **2014**.
- [29] Addy Yeow. *Global Bitcoin Node Distribution*. <https://bitnodes.earn.com/>.
- [30] Don Johnson, Alfred Menezes and Scott Vanstone. “The elliptic curve digital signature algorithm (ECDSA)”. *International Journal of Information Security*, **2001**, 1(1): 36–63.
- [31] Dmitry Khovratovich, Christian Rechberger and Alexandra Savelieva; ed. by Anne Canteaut. “Bicliques for Preimages: Attacks on Skein-512 and the SHA-2 Family”. In: *Fast Software Encryption - 19th International Workshop, FSE 2012, Washington, DC, USA, March 19-21, 2012. Revised Selected Papers*. Springer, **2012**: 244–263. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34047-5_15.
- [32] The Bitcoin Core developers. *Base58*, **2009**. <https://github.com/bitcoin/bitcoin/blob/master/src/base58.cpp>.
- [33] *The Large Bitcoin Collider*. <https://lbc.cryptoguru.org>.
- [34] Tim Dierks. “The transport layer security (TLS) protocol version 1.2”. **2008**.
- [35] Tatu Ylonen and Chris Lonnick. “The secure shell (SSH) protocol architecture”. **2006**.
- [36] Android Developers Blog. *Some SecureRandom Thoughts*, 2013-08. <https://android-developers.googleblog.com/2013/08/some-securerandom-thoughts.html>.
- [37] bitcoin.org. *Android Security Vulnerability*, 2013-08. <https://bitcoin.org/en/alert/2013-08-11-android>.
- [38] BurtW. *Bad signatures leading to 55.82152538 BTC theft*, 2013-08. <https://bitcointalk.org/index.php?topic=271486.0>.
- [39] Lars R Knudsen, Vincent Rijmen, Ronald L Rivest *et al.* “On the design and security of RC2”. In: *International Workshop on Fast Software Encryption*, **1998**: 206–221.
- [40] Ron Rivest. “Rc4”. *Applied Cryptography by B. Schneier*, John Wiley and Sons, New York, **1996**.
- [41] Ronald L Rivest. “The RC5 encryption algorithm”. In: *International Workshop on Fast Software Encryption*, **1994**: 86–96.
- [42] RL Rivest, MJB Robshaw, R Sidney *et al.* *The RC6 block cipher. v1. 1, August 20, 1998*, **2016**.
- [43] Data Encryption Standard. “Data encryption standard”. *Federal Information Processing Standards Publication*, **1999**.
- [44] American Bankers Association *et al.* “Triple Data Encryption Algorithm Modes of Operation”. *ANSI X9*: 52–1998.

- [45] Joan Daemen and Vincent Rijmen. *The design of Rijndael: AES-the advanced encryption standard.* Springer Science & Business Media, **2013**.
- [46] Ronald L Rivest, Adi Shamir and Leonard M Adleman. *Cryptographic communications system and method.* Google Patents, 1983-9 20.
- [47] Neal Koblitz. “Elliptic curve cryptosystems”. *Mathematics of computation*, **1987**, 48(177): 203–209.
- [48] Satoshi Nakamoto. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*, **2008**.
- [49] Nicholas Jansma and Brandon Arrendondo. “Performance comparison of elliptic curve and rsa digital signatures”. *nicj.net/files*, **2004**.
- [50] Léo Ducas, Alain Durmus, Tancrède Lepoint *et al.* “Lattice signatures and bimodal Gaussians”. In: *Advances in Cryptology–CRYPTO 2013*. Springer, **2013**: 40–56.
- [51] Scott Vanstone. “Deployments of Elliptic Curve Cryptography”. In: *the 9th Workshop on Elliptic Curve Cryptography (ECC)*, **2005**.
- [52] Christian Decker and Roger Wattenhofer. “Information propagation in the bitcoin network”. In: *Peer-to-Peer Computing (P2P), 2013 IEEE Thirteenth International Conference on*, **2013**: 1–10.
- [53] Ghassan O Karame, Elli Androulaki and Srdjan Capkun. “Double-spending fast payments in bitcoin”. In: *Proceedings of the 2012 ACM conference on Computer and communications security*, **2012**: 906–917.
- [54] GreenAddress. <https://greenaddress.it/>.
- [55] Rostislav Skudnov *et al.* “Bitcoin clients”. **2012**.
- [56] Graham Hamilton, Rick Cattell and Maydene Fisher. *JDBC database access with Java: a tutorial and annotated reference*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., **1997**.
- [57] Po-Wei Chen, Bo-Sian Jiang and Chia-Hui Wang. “Blockchain-based payment collection supervision system using pervasive Bitcoin digital wallet”. In: *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, **2017**: 139–146.
- [58] Hiroki Kuzuno and Christian Karam. “Blockchain explorer: An analytical process and investigation environment for bitcoin”. In: *Electronic Crime Research (eCrime), 2017 APWG Symposium on*, **2017**: 9–16.
- [59] 江柏宪、陈伯韦、王家辉、何建明. “匿名加密货币与实名商家交易的有效行动支付监督平台之建置与实作-以比特币为例”. *TANET2017 台湾因特网研讨会*, 2018-02.
- [60] Bitcoin Testnet. <https://en.bitcoin.it/wiki/Testnet>.

致謝

首先得感謝李傑教授大力鼓勵者我繼續往科研的方向前進，同時給予我最多的論文資源與多次的論文指導，總是指引我研究方向，老師嚴謹的治學態度使我終生受益。劉京老師對比特幣區塊鏈技術的了解，在我尋求問題解答的過程中給予不同的見解。

在實習單位中央研究院資訊科學所繼續展開我的科研路，同時也延續著之前與銘傳大學王家輝老師合作的科技部計畫“比特幣監督收銀系統”，因為有著計畫的補助也使得在求學的路上獲得更充足的預算，也因為計劃上的補助，使我能夠順利地前往義大利羅馬參加 IEEE WiMob 會議發表論文“Blockchain-based payment collection supervision system using pervasive Bitcoin digital wallet.”^[57]，參加台灣最大的計算機會議 TANET 發表論文“匿名加密貨幣與實名商家交易的有效行動支付監督平台之建置與實作-以比特幣為例”，也得到了 TANET 會議的最佳論文獎，在我人生道路中寫下了嶄新的一頁。感謝李開暉教授願意教導我並讓我在其旗下做科學研究。

北京大学学位论文原创性声明和使用授权说明

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名： 日期： 年 月 日

学位论文使用授权说明

(必须装订在提交学校图书馆的印刷本)

本人完全了解北京大学关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：

- 按照学校要求提交学位论文的印刷本和电子版本；
- 学校有权保存学位论文的印刷本和电子版，并提供目录检索与阅览服务，在校园网上提供服务；
- 学校可以采用影印、缩印、数字化或其它复制手段保存论文；
- 因某种特殊原因需要延迟发布学位论文电子版，授权学校在一年/两年/三年以后在校园网上全文发布。

(保密论文在解密后遵守此规定)

论文作者签名： 导师签名： 日期： 年 月 日