



北京大学

硕士研究生学位论文

题目： 区块链的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： _____

二〇一八年一月

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

金融科技蓬勃發展的今天，區塊鏈技術也是重點發展對象。區塊鏈技術最著名的代表作，不外乎是於 2009 年 Satoshi Nakamoto 提出的一篇名為比特幣：一種點對點式的電子現金系統（Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System）論文 [1]，奠定了區塊鏈技術的開始，以及於貨幣銀行學緊密的結合。比特幣是一個集成網絡學、密碼學、貨幣銀行學的加密貨幣，現今的加密貨幣市場中，有數以千計的貨幣種類在市場流動著。值得一提的是，於 2009 年開始運作至今（2018 年），比特幣點對點式的電子現金系統還未出現過錯誤，這也體現出比特幣可以承受將近十年來各式各樣的網絡攻擊以及在程序上並無太大漏洞瑕疵等優點。比特幣最大的特色在於去中心化與匿名化，以去中心化的基礎建構出一個政府無法管控的點對點金流，但也因為其匿名之特性，使得政府相關人士難以追查每一筆資金的真正持有者是誰，在傳統的中心化銀行跨國轉帳中都需要基本的實名制驗證，藉由實名制有效過濾洗錢的發生。但在比特幣點對點的電子現金系統中，沒有任何一個使用者或是政府可以要求每一個人落實實名制，進而增加交易追蹤、洗錢防制的困難性。除了不可管控、難以追蹤的特點外，在國家政府方面稅收更是國家基礎運作的資金來源，因為現今的國家並無支持比特幣相關的收銀系統或是制定出相關的稅務標準，也使得國家政府無法從這方面獲得稅收資金。

經由深度瞭解比特幣的運作原理，再由上述無法管理資金流、無法追蹤、無法得到稅收三項出發點，本論文致力於設計一個比特幣的收銀監督系統。在設計該系統前，也探討了多種模式下的交易模型，發現現金支付已經存在匿名支付給匿名、匿名支付給實名的模型，在刷卡支付中有著實名支付給實名、實名支付給匿名再支付給實名，上述的四種模型。經由上述模式的分析，可以得知，個人隱私的意識崛起，唯由匿名支付給實名時，纔可以做到不透露消費者信息，亦可做到保障消費者權益。在點對點的電子現金市場中，還是停留在匿名支付給匿名的模式中，本論文致力於設計出匿名支付實名的加密貨幣市場之監督收銀系統，以實踐消費者匿名，同時也讓消費者擁有消費者權益的交易模型。

关键词： 比特幣，區塊鏈，多重簽章

ABSTRACT

**Design and Realization of blockchain real-name
transaction monitoring system**

Chen Po Wei (Some Major)

Directed by Prof. Lijie

ABSTRACT

Test of the English abstract.

KEYWORDS: Bitcoin, Blockchain, Multiple signatures

目录

序言	1
第一章 研究動機	3
1.1 加密貨幣的發展	3
1.2 加密貨幣市場 (Cryptocurrency Market)	3
1.3 加密貨幣的優勢	5
1.3.1 24 小時不間斷運作	5
1.3.2 遠距離支付	5
1.3.3 貨幣為使用者持有	5
1.3.4 開放和透明的交易信息	6
1.3.5 區塊鏈交易數據無法修改和刪除	6
1.3.6 匿名	6
1.3.7 自治系統	6
1.4 加密貨幣的劣勢	7
1.4.1 每秒處理的交易量 (Transactions Per Second, TPS) 上限	7
1.4.2 洗錢防治困難	8
1.4.3 低可擴展性	9
第二章 文獻探討	11
2.1 比特幣 (Bitcoin)	11
2.2 比特幣地址 (Bitcoin Address)	11
2.2.1 比特幣地址生成相關算法	11
2.2.2 比特幣地址生成過程	14
2.2.3 多重簽名 (Multi-Signature)	15
2.3 區塊鏈 (Blockchain)	18
2.3.1 區塊頭 (Block Header)	18
2.4 點對點網絡 (Peer to peer network)	19
第三章 交易模型分析	21
3.1 現金交易模型	21
3.1.1 匿名客戶對匿名商家	21
3.1.2 匿名客戶對實名商家	22

3.2 電子貨幣交易模型	22
3.2.1 實名客戶支付實名商家	22
3.2.2 實名客戶透過實名第三方再實名商家	23
3.2.3 實名客戶透過匿名第三方再實名商家	23
第四章 區塊鏈的實名交易監督系統設計	25
4.1 BRTMS 數據庫設計	25
4.1.1 原數據庫	25
4.1.2 關聯數據庫	26
4.2 商店和商品信息管理子系統（SMIMSS）	26
4.3 BRTMS 架構與運作流程	27
第五章 多重簽章優化區塊鏈的實名交易監督系統	31
第六章 區塊鏈的實名交易監督系統實作	33
第七章 區塊鏈的實名交易監督系統與優化後系統實驗	37
7.1 區塊鏈的實名交易監督系統實驗	37
7.2 多重簽章優化區塊鏈的實名交易監督系統實驗	37
7.2.1 交易效能實驗	37
第八章 結論	39
8.1 提出的 BRTMS 架構還包括以下特色	39
8.2 提議的 BRTMS 的優點總結	39
參考文献	41
致謝	43
北京大学学位论文原创性声明和使用授权说明	45

图目录

图 1.1 2017 加密貨幣總市值走勢圖 ^[9]	4
图 1.2 密碼貨幣歷年最高總市值折線圖 ^[9]	4
图 1.3 Bitcoin、Western Union、PayPal 以及 VISA 每秒支持交易量比較圖[TPS]	7
图 1.4 比特幣區塊鏈成長走勢圖 ^[13]	8
图 1.5 Darklaunder 洗錢模型 ^[19]	9
图 2.1 LBC 競爭比特幣私鑰算力狀態圖 ^[25]	12
图 2.2 ECC 與 RSA 的密鑰對生成時間比較圖 ^[39]	13
图 2.3 算法 BLISS、RSA、ECDSA 安全級數比較圖 ^[40]	14
图 2.4 比特幣地址生成流程圖	15
图 2.5 Green Address 錢包生成流程圖	16
图 2.6 Green Address 交易發起流程圖	17
图 2.7 比特幣區塊鏈結構圖	18
图 2.8 Merkle Tree 示意圖	19
图 2.9 Bitcoin Full Node ^[42]	20
图 3.1 各種交易模型示意圖	21
图 3.2 匿名對匿名交易示意圖	22
图 3.3 匿名對實名交易示意圖	22
图 3.4 實名對實名交易示意圖	22
图 3.5 實名對實名再對實名交易示意圖	23
图 3.6 實名對匿名再對實名交易示意圖	23
图 4.1 BRTMS 數據庫分佈圖	25
图 4.2 BRTMS 和商家註冊流程的核心架構圖	27
图 4.3 BRTMS 的整體示意圖	28
图 5.1 多重簽章優化後的 BRTMS 整體示意圖	32
图 6.1 SMIMSS 的 Java 應用程序的註冊和登錄界面	33
图 6.2 在 SMIMSS 中插入或更新授權商家的產品目錄	33
图 6.3 登錄、等待結帳的商品、刪除商品及支付確認	34

图 6.4 在 CMPTSS App 中，交易確認，付款確認、交易歷史紀錄和發票 35

图 7.1 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 37

序言

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、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消費者喜愛。至今區塊鏈技術已成為 IBM、摩根大通、微軟、谷歌、英特爾重點開發項目，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，本論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貨幣技術提升，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。

第一章 研究動機

1.1 加密貨幣的發展

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)^[2]、狗幣 (DogeCoin, DOGE)^[3]、域名幣 (NameCoin, NMC)^[4]，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)^[5]。於 2015 年底也誕生了現在最為著名的以太坊經典 (Ethereum Classic, ETC)^[6]、以太坊 (Ethereum, ETH)^[7]，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^[8]，使以太坊在虛擬機中可以使用 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，降低交易所因為黑客攻擊而倒閉的可能性。

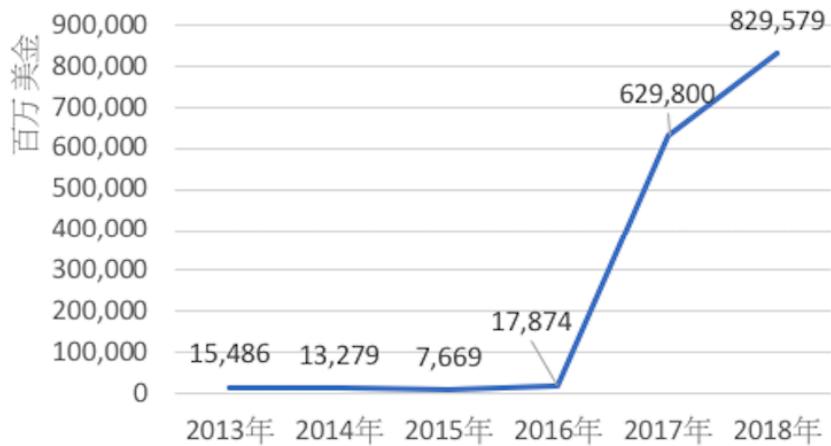
1.2 加密貨幣市場 (Cryptocurrency Market)

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完美，有的則是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^[9] 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。

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，論文 "Have the security flaws surrounding Bitcoin effected the currency's value?"^[10] 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

图 1.1 2017 加密货币总市值走势图^[9]

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 倒閉事件成為影響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，2017 為 2016 年的 35 倍成長幅度，主要是因為美國最大的期權交易中心芝加哥期權交易所於 2017 年 12 月 10 日支持比特幣期貨，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 密码货币历年最高总市值折线图^[9]

1.3 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。和透明的交易信息、區塊鏈交易數據無法修改和刪除、匿名、自治系統等特性，而區塊鏈技術則突破了現存之傳統中心化金融機構的瓶頸。

1.3.1 24 小時不間斷運作

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，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。

1.3.2 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纔可以抵達目的地，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，也因為點對點網絡架構，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。

1.3.3 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，百姓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^[11]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，纔可以移動該筆資產。

1.3.4 開放和透明的交易信息

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。

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以前從未見過的有價值觀點。

1.3.5 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無法刪除。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）^[12]。由於上述結構特性，區塊鏈中所有的信息都不會被改變，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。

1.3.6 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賬戶都不會與真實世界中的實體建立直接關係，也因為沒直接關聯所以建立匿名。區塊鏈系統中的所有賬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，我們會向 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。

1.3.7 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，可以使用比特幣改善提案（Bitcoin Improvement

Proposals, BIP) 升級比特幣系統。在升級提案可以在比特幣系統上正式運行之前，提議的比特幣改進建議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，但也因為變化不大而相對穩定。

1.4 加密貨幣的劣勢

在區塊鏈技術中，有著幾項瓶頸，其中包括每秒處理的交易量（Transactions Per Second, TPS）限制、無法達成即時交易確認、洗錢防治困難、低可擴展性。

1.4.1 每秒處理的交易量（Transactions Per Second, TPS）上限

圖1.3為VISA為國際上著名的支付系統之一，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，這樣的上限由許多原因造成。



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

上修區塊大小限制，區塊鏈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。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，促使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。

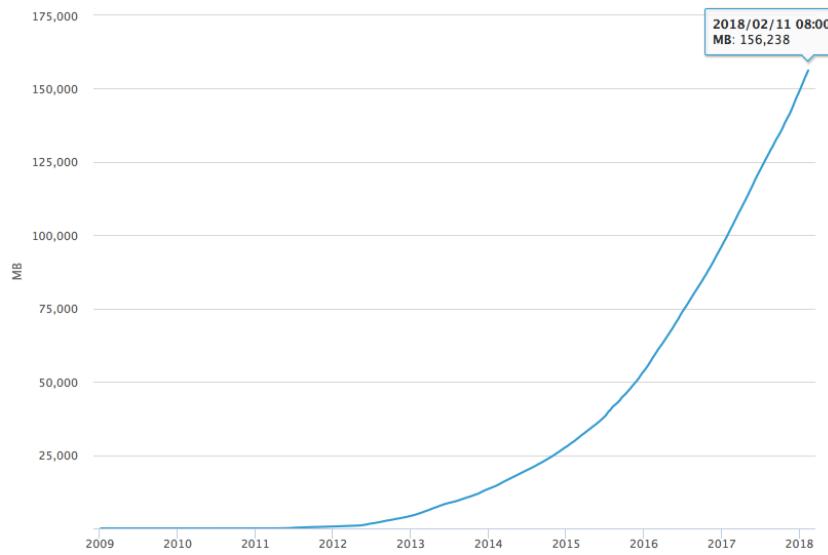


图 1.4 比特幣區塊鏈成長走勢圖^[13]

上修區塊大小上限，造成區塊鏈最新區塊同步延遲 對於區塊鏈的區塊同步延遲造成比特幣網絡的影響，於“Increased block size and Bitcoin blockchain dynamics”^[14] 有著詳細的研究，在上修區塊大小上限的議題上，除了造成比特幣全節點意願度下降，亦有機會造成以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 1055 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。

1.4.2 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 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^[15] 導入了環簽章（Ring Signature）^[16] 算法、Zcash^[17] 導入零知識證明算法^[18]，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。論文“An Analysis of Bitcoin Laundry Services.”^[19]，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。

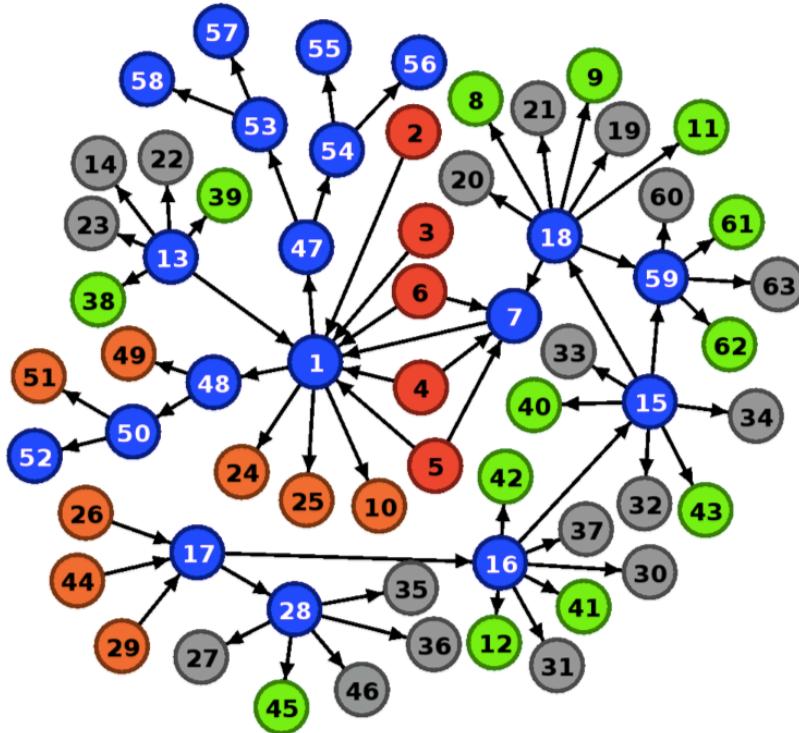


图 1.5 Darklaunder 洗錢模型^[19]

1.4.3 低可擴展性

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，外部的信息輸入皆無法保證信息的正確性，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，該食品履歷區塊鏈則無意義。

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 Ethereum 的作者 Vitalik 也創建了 Ethereum 虛擬機。其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。

第二章 文獻探討

2.1 比特幣 (Bitcoin)

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)^[20]、簽章密碼學 (Signature cryptography)、零知識證明密碼學 (Zero Knowledge Proof Cryptography)^[18]、哈希函數密碼學 (Hash function cryptography)、共式算法 (Consensus) 諸多技術建構了一個分散式、不需要仰賴中心化機構加以維護的交易帳本 (區塊鏈)。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。

2.2 比特幣地址 (Bitcoin Address)

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、多重簽名，可以近一步應用在區塊鏈的實名交易監督系統。

2.2.1 比特幣地址生成相關算法

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、secp256k1^[21]、SHA-256 (哈希函數)^[22]、RIPEMD-160 (哈希函數)^[23]、Base58^[24]。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。

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，也就是私鑰，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^[25] 團隊正在努力的窮舉比特幣 2^{256} 的組態空間，如圖2.1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，團隊也將這 15 個地址的 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

24h Pool Performance: 1588.74 Mkeys/s



图 2.1 LBC 翁舉比特幣私鑰算力狀態圖^[25]

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一個高安全性的加密通道-傳輸層安全性協定（Transport Layer Security， TLS）^[26]，在 SSH 協議中也採用了亂數。

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，於 2013 年 8 月比特幣開發者 Mike Hearn 提及“*All private keys generated on Android phones/tablets are weak and some signatures have been observed to have colliding R values*”^[27]，Bitcoin.org 也發布了警告^[28] 簡要說明該事件的原因，以及表明影響到的 Bitcoin Wallet 客戶端有 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^[29]，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。

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 教授設計，包括 RC2（1987 年）^[30]、RC4（1987 年）^[31]、RC5（1994 年）^[32]、RC6（1998 年）^[33]；信息塊加密著名的有數據加密標準（Data Encryption Standard，DES，1975 年）^[34]、三重數據加密算法（Triple Data Encryption Algorithm，Triple DES，1998 年）^[35]、高級加密標準（Advanced Encryption Standard，AES，1998 年）^[36]；非對稱式加密最廣為人知的有 RSA（Rivest – Shamir – Adleman，1977 年）^[37]、橢圓曲線密碼學（Elliptic curve cryptography，ECC，1985 年）^[38]。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 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 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，既使網絡存在著監聽，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，纔可以解出明文。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) 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池持當中，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入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

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

$p=FFFFFFFFFFFFFFFFFFF...FFFFEFFFFC2F$ 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佳快速，圖2.2為 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^[39] 顯示，當 ECC 產生 571 bits 的密鑰長度，RSA 要達到相同的安全性需要生成 15360 bits，這也導致生成時間產生高達 471 倍之差距。

Key Length		Time (s)	
ECC	RSA	ECC	RSA
163	1024	0.08	0.16
233	2240	0.18	7.47
283	3072	0.27	9.80
409	7680	0.64	133.90
571	15360	1.44	679.06

圖 2.2 ECC 與 RSA 的密鑰對生成時間比較圖^[39]

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，L Ducas 針對 ECC、RSA、BLISS 做出了深度的安全性探討^[40]，圖2.3同樣達到 80 bits 的安全性級數，RSA 1024 需要 1024 bits，ECDSA 160 僅需要 160 bits，該篇論文除了探討 RSA 與 ECDSA 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名算法。

Implementation	Security	Signature Size	SK Size	PK Size	Sign (ms)	Sign/s	Verify (ms)	Verify/s
BLISS-0	≤ 60 bits	3.3 kb	1.5 kb	3.3 kb	0.241	4k	0.017	59k
BLISS-I	128 bits	5.6 kb	2 kb	7 kb	0.124	8k	0.030	33k
BLISS-II	128 bits	5 kb	2 kb	7 kb	0.480	2k	0.030	33k
BLISS-III	160 bits	6 kb	3 kb	7 kb	0.203	5k	0.031	32k
BLISS-IV	192 bits	6.5 kb	3 kb	7 kb	0.375	2.5k	0.032	31k
RSA 1024	72-80 bits	1 kb	1 kb	1 kb	0.167	6k	0.004	91k
RSA 2048	103-112 bits	2 kb	2 kb	2 kb	1.180	0.8k	0.038	27k
RSA 4096	≥ 128 bits	4 kb	4 kb	4 kb	8.660	0.1k	0.138	7.5k
ECDSA¹ 160	80 bits	0.32 kb	0.16 kb	0.16 kb	0.058	17k	0.205	5k
ECDSA 256	128 bits	0.5 kb	0.25 kb	0.25 kb	0.106	9.5k	0.384	2.5k
ECDSA 384	192 bits	0.75 kb	0.37 kb	0.37 kb	0.195	5k	0.853	1k

图 2.3 算法 BLISS、RSA、ECDSA 安全級數比較圖^[40]

SHA-256

哈希下數在比特幣系統中扮演著相當多的角色，包括比特幣地址生成、比特幣交易哈希指針、比特幣區塊哈希指針、比特幣挖礦算法工作量證明。哈希算法有幾大特色，分別為

RIPEMD-160

Base58

2.2.2 比特幣地址生成過程

1. 生成私鑰：使用亂數產生器產生一個長度在 256 bits 以內的隨機數，而此隨機數即成為該地址的私鑰，在比特幣系統中，可以利用私鑰（Private Key）簽署花費該地址當中的比特幣。
2. 生成公鑰：該算法為一個以橢圓曲線算法為基礎的一個標準，而不同標準的差異在於初始化的參數，這些參數的訂定皆經過嚴謹的考覈及實驗測試。在比特幣系統中該算法扮演著私鑰轉換為公鑰的角色。這使得比特幣交易使用私鑰進行簽署之後，還可以使用公鑰校驗該筆交易的正確性。
3. 生成公鑰 SHA-256：一種哈希函數，哈希函數的特性有許多，包括雪崩效應、不可預測、不可逆、校驗檔案是否完整。在此步驟中是將公鑰帶入 SHA-256 函數中，產出長度為 256 bits 的哈希值。

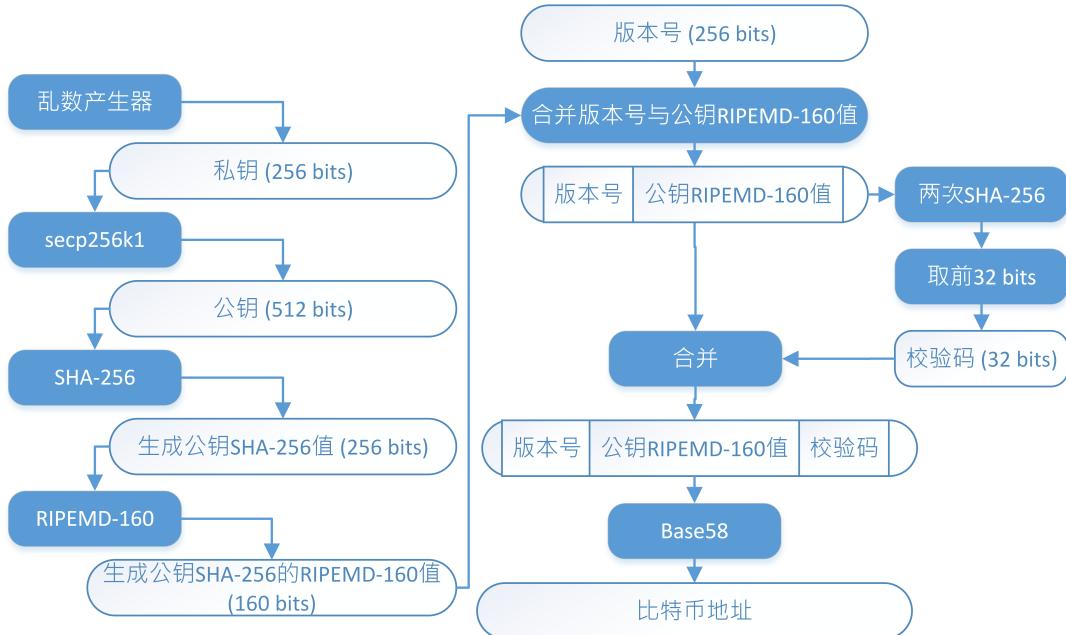


图 2.4 比特幣地址生成流程圖

4. 生成公鑰 SHA-256 的 RIPEMD-160：亦為哈希函數的一種，特色符合哈希函數的特性，與 SHA-256 不同的是 RIPEMD-160 產出的長度為 160 bits。
5. 取得版本號：比特幣在一開始設計的過程中，便定義了不同的地址樣式及功能，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：版本號、第四個步驟的產生之公鑰 RIPEMD-160 及第五個步驟產生之校驗碼合併。
8. 合併的結果以 Base58 編碼：將第六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，可以降低人工判讀在地址的錯誤率。

2.2.3 多重簽名 (Multi-Signature)

Green Address

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 (Double-spending)^[41] 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 Green Address 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 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，視同此機交易不曾存在過，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紀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。

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。

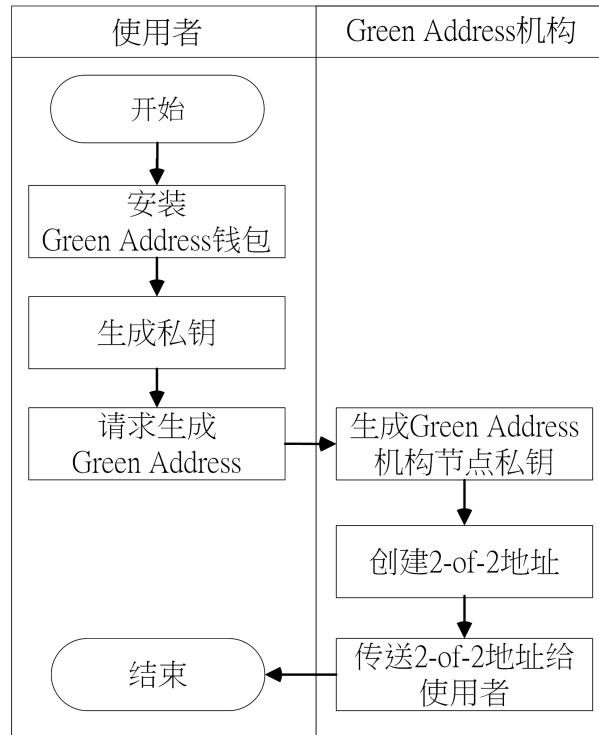


图 2.5 Green Address 錢包生成流程圖

1. 使用者安裝 Green Address 比特幣錢包，並向 Green Address 機構節點請求創建 2-of-2 多重簽章比特幣地址。
2. 使用者與 Green Address 機構節點分別生成兩把私鑰，共同創建 Green Address 比特幣地址。
3. 當交易發起時，使用者使用自己的私鑰簽署該筆交易。
4. 將該筆交易傳送到 Green Address 機構節點。
5. Green Address 機構節點收到後，檢查該筆交易是否存在雙重支付攻擊。
6. 確認無攻擊跡象後便廣播至比特幣網路中。

Green Address 交易發起流程 說明完 Green Address 地址是如何創建之後，該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路中，如圖2.6所示。

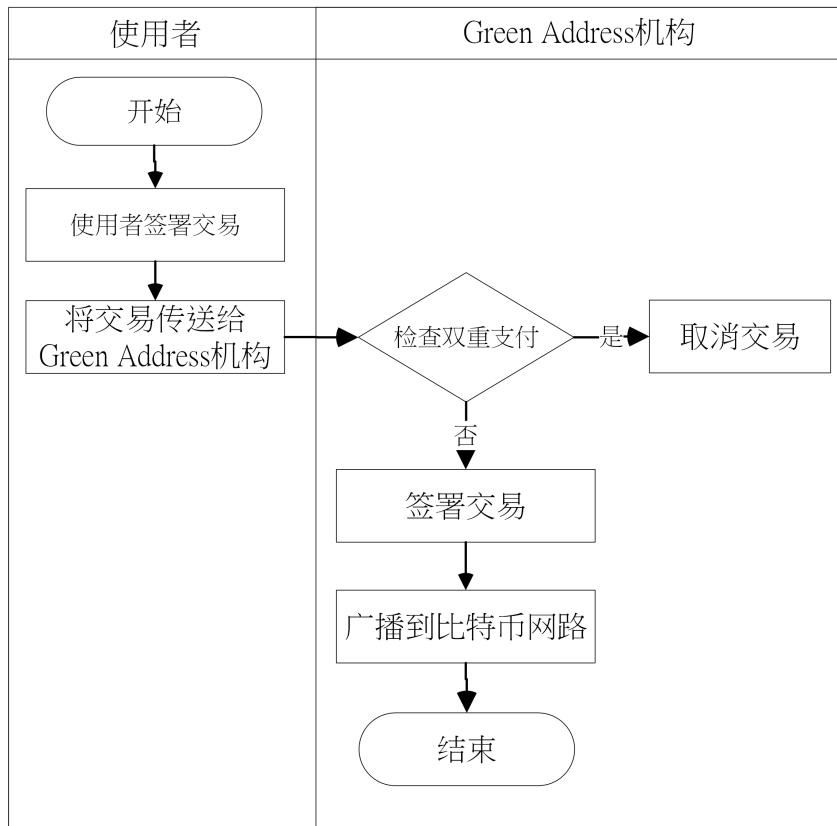


图 2.6 Green Address 交易發起流程圖

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。

2.3 區塊鏈 (Blockchain)

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，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。比特幣是區塊鏈技術最重要的應用之一。我們將描述區塊鏈技術的一些細節。

2.3.1 區塊頭 (Block Header)

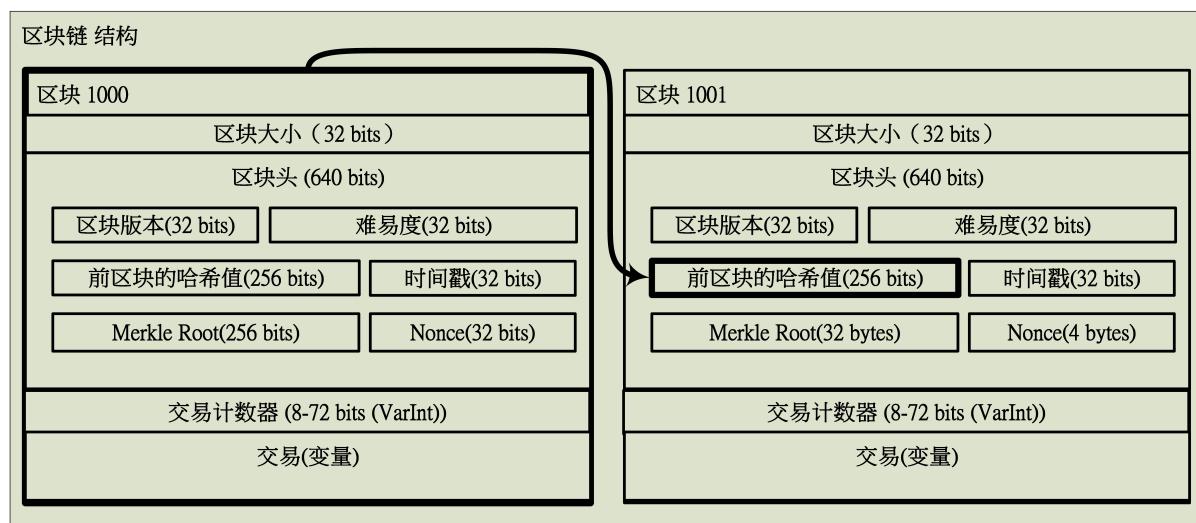


图 2.7 比特幣區塊鏈結構圖

區塊版本 (32 bits) 該欄位存儲比特幣區塊鏈中的區塊版本。

前區塊的哈希值 (256 bits) 記錄前一個塊的哈希值。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。為新區塊不斷疊加在舊的區塊上，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。

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，此時的交易為 n 個樹葉，將每個樹葉進行一次 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哈希，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，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。

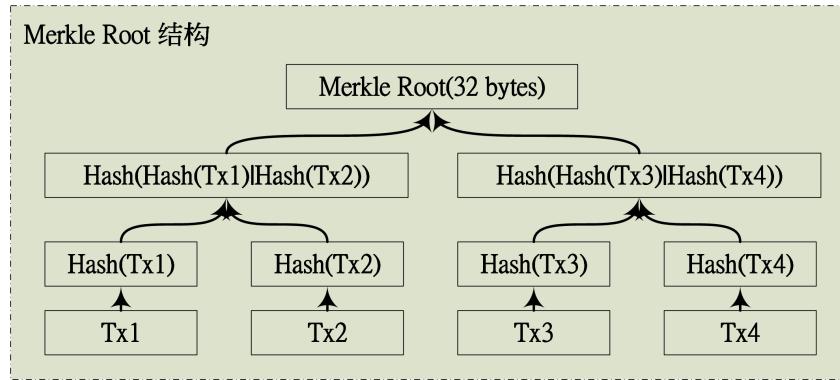


图 2.8 Merkle Tree 示意圖

難易度 (32 bits) 在比特幣網絡中難易度參數平均每十五天會有所變動，用以調控比特幣區塊的產出頻率，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。

時間戳 (32 bits) 以年、月、日、小時和秒的格式記錄區塊生成時間。

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，纔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。

2.4 點對點網絡 (Peer to peer network)

去中心化的加密貨幣系統帶給社會帶給傳統的中心化的金融體系以及政府帶來了很重大的衝擊，Satoshi Nakamoto 建構了一個不需要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，也將交易紀錄的帳本已明文的方式存儲在去中心化的區塊鏈中，以比特幣為例，現今的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2.9所示，截至 2018 年 1 月 25 比特幣網絡中全節點數量為 10552 個^[42]，全節點的數量決定了比特幣帳本的可靠度，倘若有著更多的全節點，會使得比特幣網絡堅不可摧，更難去修改歷史發生過的交易數據。

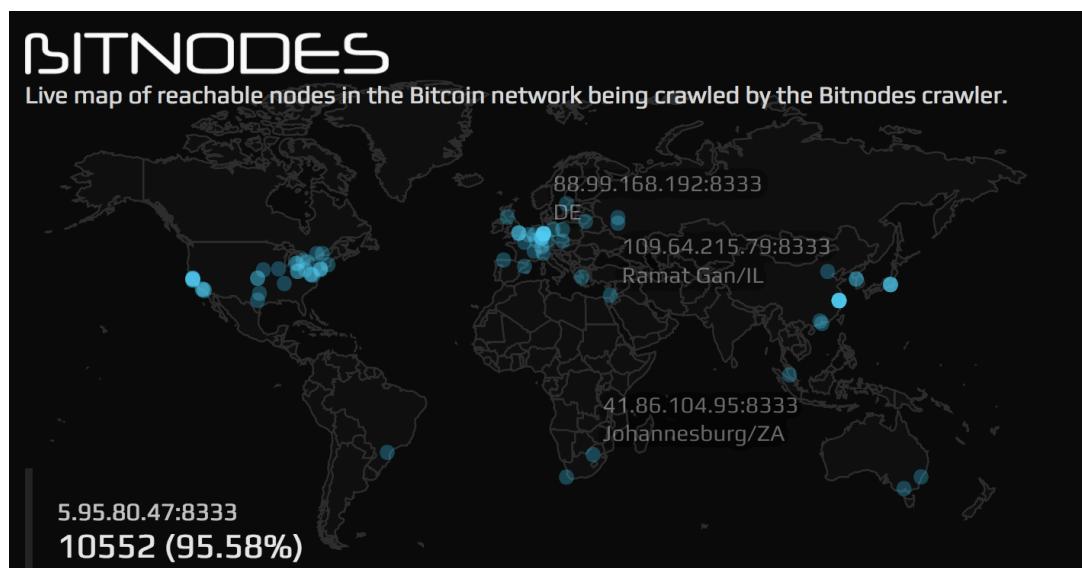


图 2.9 Bitcoin Full Node^[42]

第三章 交易模型分析

在設計一個區塊鏈的實名交易監督系統之前，必須要針對不同的交易模型做探討。在區塊鏈的實名交易監督系統中，會以加密貨幣的觀點重新設計一個新的支付系統，重新深究匿名者與匿名者之間的交易模式、實名與實名之間的交易模式、匿名與實名之間的交易模式，這三種交易模式所代表著意義與時代革新帶來的技術變革。

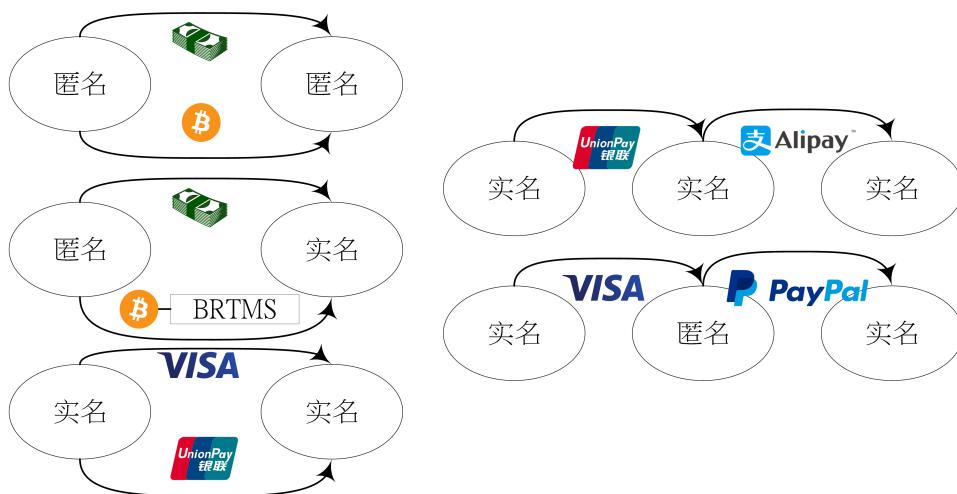


图 3.1 各種交易模型示意圖

3.1 現金交易模型

3.1.1 匿名客戶對匿名商家

最早人類的交易行為可以探究到以物易物的交易行為模式，進而發展出銅幣、紙幣、金幣，甚至是現今常聽聞的金本位制度。在交易的過程中商家無法知道消費者的真實身分，而在一些沒有收據的環境下，如雜貨店或是攤販、一些沒有開收據的商店，消費者也不知道商家的真實身分，故將此交易模式定義為”匿名者與匿名者之間的交易模式”。在這樣的交易模式下，消費者保持匿名，對消費者而言，可以有效的保護消費者的個人信息安全，因為在貨幣的持有方式，並不需要登記姓名，資產轉移的過程中一概不需要。對於消費者而言，雖然消費者的匿名保護了自己的個人信息，但商家的交易信息也是匿名，對整個交易結果若有爭議，這便是追訴無門的結果。而在交易並未被有效紀錄的情況下，政府對稅收的計算，會進入無法計算的灰色地帶。圖3.2為匿名的消費者對未開立收據或是實名制的商家的交易模型。

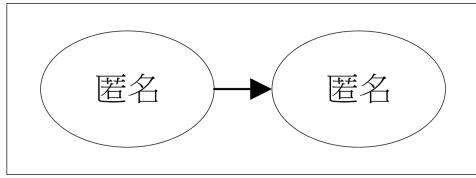


图 3.2 匿名對匿名交易示意圖

3.1.2 匿名客戶對實名商家

在另一個場景中，在交易進行的過程中，消費者為匿名，商傢俱有實名，對消費者而言因為自己本身並無綁定個人信息，故對個人信息有很大的保障，消費者消費物件的店傢俱有實名而開立收據，對消費者而言會得到消費紀錄的保障，對消費的糾紛有店家可以追溯。對政府，因為交易的紀載使得稅收的計算變得容易。圖3.3為消費者使用現金對已經實名制或是開立收據的商家之消費模型。

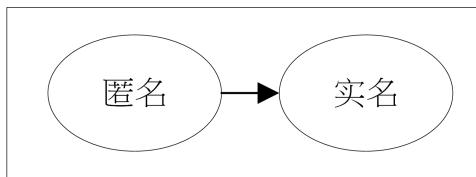


图 3.3 匿名對實名交易示意圖

3.2 電子貨幣交易模型

3.2.1 實名客戶支付實名商家

在現在最為常見的塑膠貨幣支付管道 VISA 中，因為當年的設計並無類似區塊鏈去中心化的理論、技術提出，因而資金的轉移設計會是通過銀行進行帳戶與帳戶之間的資金轉移，也因為這樣的設計，造成交易的基礎被規範在實名與實名之間的交易模式，這樣的交易模式，雖然快速且方便，但在無形之中透漏了許多消費者的個人信息。在交易手續費方面，VISA 的手續在跨國刷卡的場景下，皆需要收取高達百分之一點五的手續費，對於消費者而言使用 VISA 作為支付會帶來不小的負擔。圖3.4為透過實名制支付管道對商家進行交易的模型。

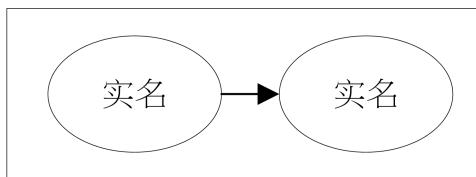


图 3.4 實名對實名交易示意圖

3.2.2 實名客戶透過實名第三方再實名商家

在中國 VISA 較不為常見，但除了 VISA 電子支付還有中國本身自營的銀聯，但因為中國的銀行眾多林立，且在科技化的世代中隨身帶著許多的卡片會造成不便，所以支付寶致力於將所有的卡片電子化，將所有中國在地銀行卡統合在一起，透過結合所有品牌的銀行卡以達有效提升卡片交易的方便性與使用率，圖3.5為以實名制的銀聯卡透過支付寶進行支付給實名制的店家的交易模型。

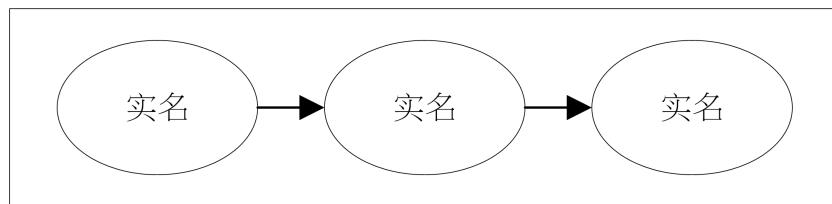


图 3.5 實名對實名再對實名交易示意圖

3.2.3 實名客戶透過匿名第三方再實名商家

為減低在進行交易的過程中使用 VISA 支付管道會透露太多的消費者個人信息的問題，PayPal 便致力於將消費者銀行卡的相關個人信息存儲在 PayPal 身上，PayPal 再以公司的身分，將資金轉移給商家，消費者與店家的交易中間多了一個仲介的角色，也讓這樣的交易模式看似匿名的消費者對上實名的商家。但在這樣的交易過程中，消費者的信任需要寄附在 PayPal 身上，畢竟大部分的銀行卡與個人信息皆存儲在 PayPal 公司內，PayPal 公司的信息安全將成為最重要的議題。圖3.6為先以實名制的支付管道將資金轉移到代支付的 PayPal 公司，PayPal 代為支付的過程中將原資金來源的個人相關信息保護在 PayPal 公司中，以製造出一種匿名支付方法保護消費者的個人信息之模型。

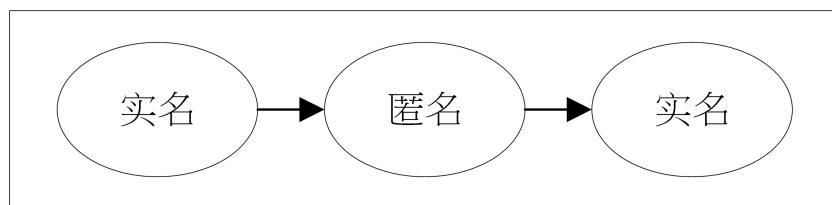


图 3.6 實名對匿名再對實名交易示意圖

第四章 區塊鏈的實名交易監督系統設計

本論文提出區塊鏈的實名交易監督系統（Blockchain Real-name Transaction Monitoring System, BRTMS），以下簡稱 BRTMS，BRTMS 以加密貨幣比特幣實作，BRTMS 包含三個子系統，商店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），我們將在稍後描述這些子系統。

4.1 BRTMS 數據庫設計

4.1.1 原數據庫

區塊鏈的實名交易監督系統應用了四個原數據庫，分別為使用者數據庫、產品數據庫、商家數據庫、交易數據庫：

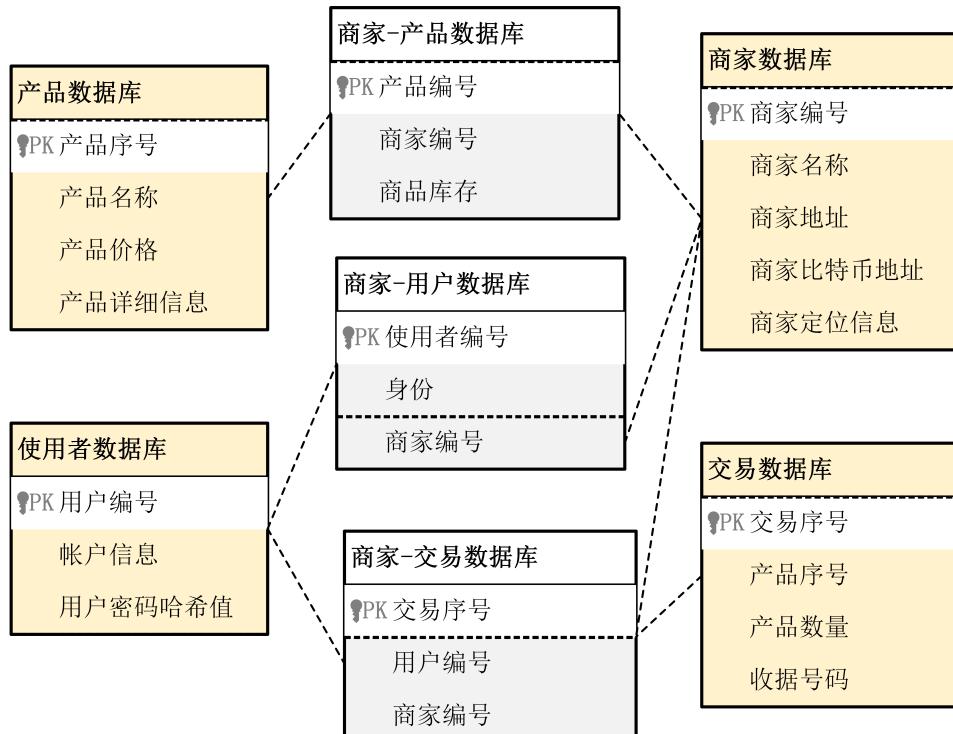


图 4.1 BRTMS 數據庫分佈圖

店家數據庫 存儲正在審核中的企業信息或已經過審核的企業信息。存儲的信息包括商家 ID、商戶名稱、商戶位置、商戶的加密貨幣地址以及 GPS 坐標。

產品數據庫 只有授權用戶才能登錄添加或修改交易產品信息。產品數據庫內容包括產品標識號、產品名稱、產品說明、日期和價格等相關信息。

交易數據庫 記錄包括交易序列號、產品識別號碼、產品交易金額、商戶加密貨幣收款人地址、消費者加密貨幣支付地址、商戶 ID 和最後確認字段的值。

使用者數據庫 存儲所有使用者信息，包括政府、商家及顧客之個人帳戶信息的數據庫，而使用者密碼則以哈希的方式保存，以增加用戶安全性。

4.1.2 關聯數據庫

商家-用戶數據庫 本數據庫存儲各個商家擁有的職員信息，包括各店家的商店編號、使用者編號及身分編碼。

商家-產品數據庫 此數據庫存儲各家公司當前商品存貨信息，由商店編號、產品編號及產品庫存所組成。

商家-交易數據庫 本數據庫記錄著每一筆交易的經手人是誰，並由交易編號、店家序號，及使用者序號組成。

4.2 商店和商品信息管理子系統（SMIMSS）

在提出的區塊鏈的實名交易監督系統架構中，商家需要在以下 4 個步驟中對商店和商品信息管理子系統（SMIMSS）進行註冊：

1. 商戶必須在 BRTMS 註冊一個帳戶，並附有政府法規的商業證明。
2. 區塊鏈的實名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，以審查該商店的加密貨幣交易業務。
3. 如果政府批准商店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店帳戶。
4. 商家可以自由地登錄賬戶並添加商家想要出售的產品，並檢查他們的加密貨幣交易數據，例如產品庫存和產品交易記錄。



图 4.2 BRTMS 和商家註冊流程的核心架構圖

4.3 BRTMS 架構與運作流程

具體的加密貨幣商家收銀金流監控系統運行過程如圖4.3所示，我們以圖4.2所設計出的系統架構進行擴增，首先我們需要與 blockchain explorer 對接，而之所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。

區塊鏈的實名交易監督系統中創建步驟描述如下：

1. 商家的店員將登錄到如圖4.2所示的先前步驟創建的帳戶，以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，商家帳戶必須由政府機構審計。
2. 在成功登錄 SMCTSS 用於商戶加密貨幣流量監控系統時，移動設備將加載通過 SMIMSS 註冊的商店產品信息，然後創建產品目錄。商店的店員可以根據客戶的需求選擇所需的產品和數量。

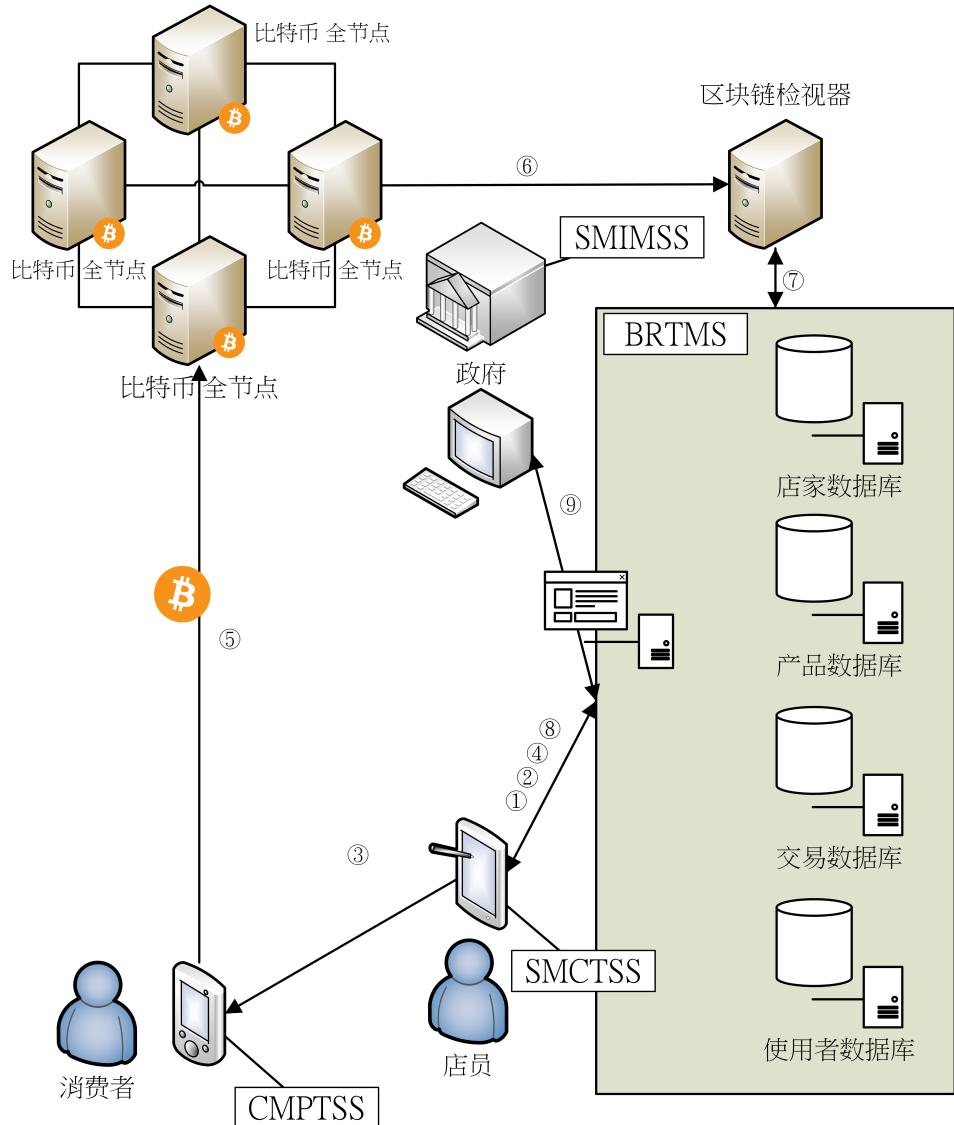


图 4.3 BRTMS 的整体示意圖

3. 店員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店員的移動設備傳遞給消費者的移動設備，而無需物理交互。然後，消費者可以很容易地將自己的消費信息記錄成為發票等參考。在接收從商家店員設備向顧客設備購買產品消息的同時，顧客設備還將向商家的移動設備發送其自己的比特幣支付地址的消息。
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。消費者信息包括交易序列號、商戶 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消費者的支付地址。
5. 收到消費者交易信息後，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 BRTMS 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 BRTMS 中的交易副本之加密貨幣收款人地址（如圖4.2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”消息可發送至商店平板電腦上運行的商店和商品信息管理子系統（SMCTSS）。
9. 政府財政監督部門可以審查擬議 BRTMS 中的所有交易信息，以作為稅收審計參考。

第五章 多重簽章優化區塊鏈的實名交易監督系統

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問題，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，在更嚴重一點甚至會造成比特幣網絡的瓦解。

何謂雙重支付問題，雙重支付問題存在於比特幣交易在未被區塊鏈確認收錄到區塊鏈之前，都有機會受到惡意的攻擊者重複消費同一筆金額，而這些雙重支付交易會存在於交易緩存池當中，雙重支付的交易會在記載到區塊中的同時被過濾。現今的比特幣區塊產出速度為十分鐘一塊，但十分鐘的確認時間對實體店面的小額交易事件會造成很大的不友善，為了在既有的比特幣區塊鏈框架底下能夠提升交易速度，因此 Green Address 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，Green Address 的技術採用了多重簽章 2-of-2，2-of-2 的意思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人，其一為使用者，另一位則為 Green Address 機構節點，這筆交易的建立必須要雙方同時簽署才得以被成立。Green Address 機構節點也就成為了交易創建的把關者，過濾所有雙重支付攻擊的發生。

在這樣的機制下，雖然 Green Address 沒有減少交易確認時間，但是隻要是用 Green Address 即可確保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，提升未進入區塊鏈的交易可信度，進而創造出即時交易的可行性。

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

1. 商家以通過政府機構的審查稽覈的帳戶登入該系統。
2. 系統載入該店家註冊的商品信息，店員可以依照客戶的需求進行點單選取數量。
3. 快速建立交易清單，並透過 Green Address Testnet 建立一個全新的比特幣收款地址，再以 Android Beam[23] 的方式將交易信息輕鬆地傳達給消費者。
4. 在商家店員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. 消費者收到交易信息後，手機會自動開啟 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 Green Address 機構節點的認證及發布。

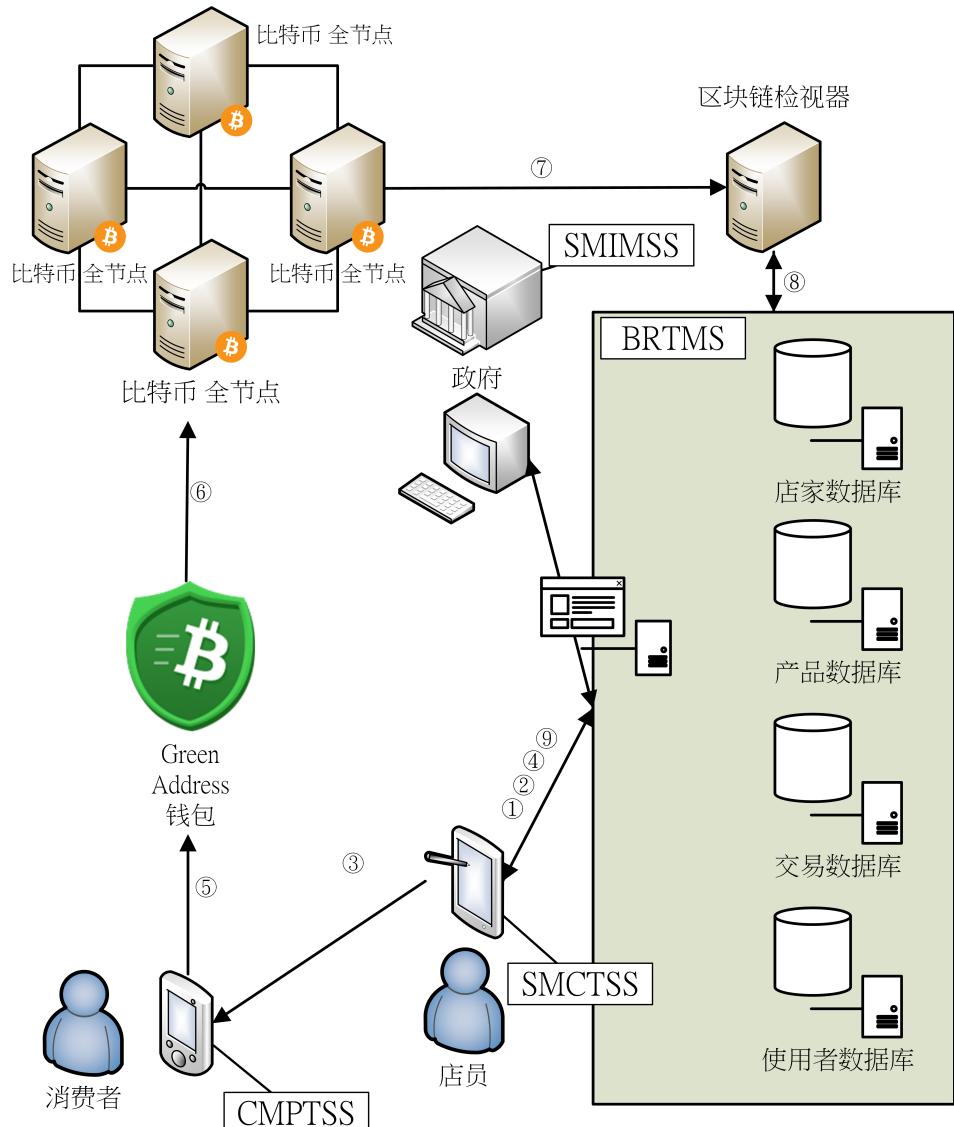


图 5.1 多重簽章優化後的 BRTMS 整體示意圖

6. Green Address 機構節點收到交易請求，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，便向商家店員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。

第六章 區塊鏈的實名交易監督系統實作

為了驗證和證明所提議的 BRTMS 用於比特幣支付收款監督的可行性和有效性，我們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，用於商家職員的運行在 Android App 上的 SMCTSS 以及運行在 App 上的用於客戶的 CMPTSS。如圖6.1所示，SMIMSS Java 應用程序可以幫助商家登錄到系統或創建一個新帳戶。授權商戶成功登錄系統後，商家可以插入或更新產品列表，如圖6.2所示。實施的 SMIMSS Java 應用程序執行前面部分中所述的功能。

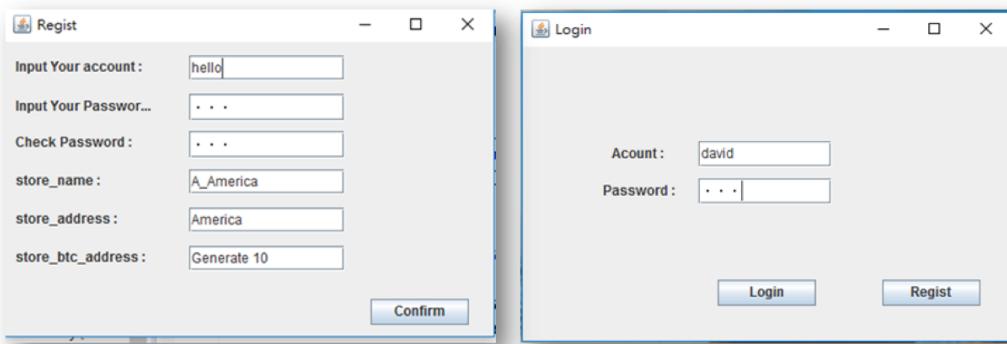


图 6.1 SMIMSS 的 Java 應用程序的註冊和登錄界面

name	detail	quantity
iphone 5	white	20
iphone 5	black	10
iphone 6	white	15
iphone 6	black	23
iphone 7	white	25
iphone 7	black	0
i8	red	0
i8	blue	0
i9	oramge	0

图 6.2 在 SMIMSS 中插入或更新授權商家的產品目錄

商戶的產品信息可以通過 RFID 標籤掃描，存儲到雲端數據庫中，商戶店員可以使用我們實現的 SMCTSS 安卓客戶端，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6.3所示的第一項活動中，商家職員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，從而將掃描的產品列入購物車。在圖6.3的第三項活動中，顧客可以要求店員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幫助店員確認發布此加密貨幣交易的收款人地址，如圖6.3的第 4 項活動所示。

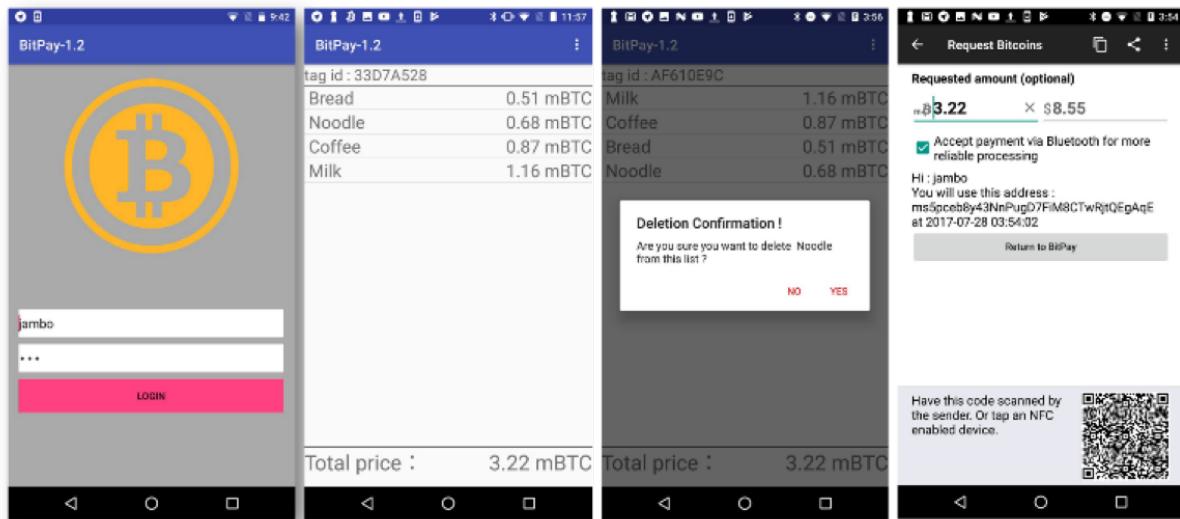


图 6.3 登錄、等待結帳的商品、刪除商品及支付確認

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6.4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。

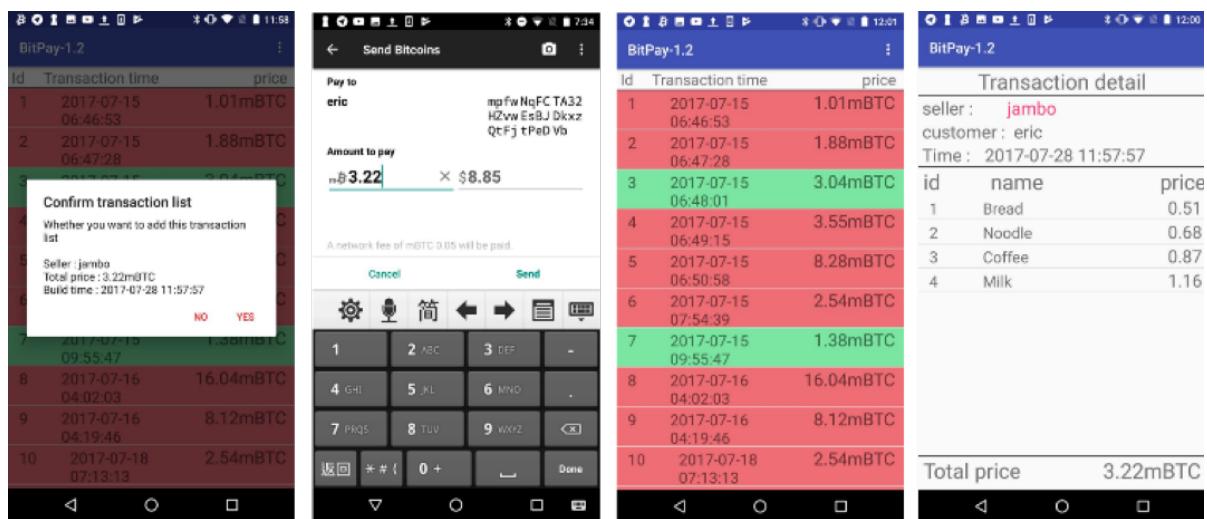


图 6.4 在 CMPTSS App 中，交易確認，付款確認、交易歷史紀錄和發票

第七章 區塊鏈的實名交易監督系統與優化後系統實驗

7.1 區塊鏈的實名交易監督系統實驗

根據比特幣點對點架構，儘管客戶和商店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。因此，為了驗證我們提出的 BRTMS 不會通過使用比特幣等加密貨幣影響交易完成時間，我們在 Testnet 實驗中連續記錄了 30 筆交易信息。首先，我們使用區塊鏈工具，如7.1的第一張快照所示，透過使用 Testnet 依序進行 30 筆比特幣交易，如圖7.1的中間快照所示，最後 30 筆交易完成時間全部記錄在區塊鏈檢視器。實驗結果表明，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。根據比特幣 Testnet 上的初步實驗結果顯示，我們提出的 BRTMS 可以快速有效地執行區塊鏈支付收款監督。

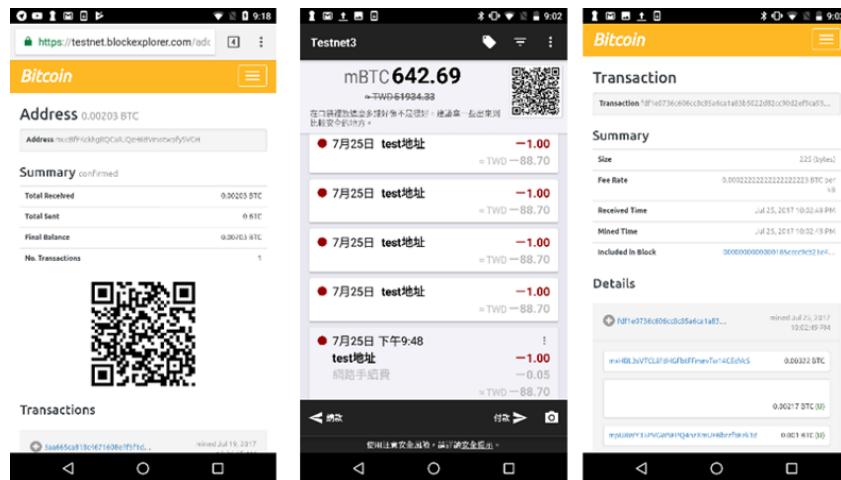


图 7.1 使用區塊鏈瀏覽器驗證存儲在比特幣區塊鏈中的交易過程

7.2 多重簽章優化區塊鏈的實名交易監督系統實驗

7.2.1 交易效能實驗

本節主要介紹一般測試幣與綠色錢包測試幣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。

實驗目的 實驗的目的是要確認我們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 Green Address 錢包作為交易媒介的確認交易時間的差距。

實驗方法 本次的實驗分為兩部份，分別是透過 Bitcoin Testnet 錢包以及使用本論文所採用的 Green Address Bitcoin Wallet 上執行 25 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-17:00 17:50，每隔兩分鐘執行一次付款的動作，總共歷時 50 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測試幣錢包及綠色地址錢包兩者之間的差距。

實驗結果 本次實驗分別記錄以 Testnet 錢包及綠色地址錢包執行 25 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，必須等到交易寫入才能保證此筆交易不會被礦工拋棄，也纔算真的完成這筆交易；但若以綠色地址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拋棄的情況，綠色地址代理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我們就可以視為交易完成，透過兩者錢包的交易數據，我們比較及分析兩種錢包交易的時間數據。

透過本次的實驗，我們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，但因為綠色地址錢包的特性，只要進入緩存池就算完成交易確認，因此綠色地址錢包的完成交易確認的時間遠遠快於一般 Testnet。相信比起一般使用者支付現金時可以省去掏零錢、算錢及找零等繁瑣的動作快速許多，相信以此方式作為支付管道，可大大提升日常生活中的便利性與安全性。

第八章 結論

在本文中，我們建議並實施一個名為 BRTMS 的區塊鏈實名交易監督系統，不僅為分別花錢和賺取加密貨幣的客戶和商家，同時也能協助府金融監督單位審計加密貨幣交易籌集稅收。此外，加密貨幣交易實驗的初步結果，使用著名的 Testnet 比特幣和雲數據庫，我們以著名的比特幣加密貨幣錢包實作的 Java 應用程序和 Android 應用程序客戶端。

此外，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，以期未來加密貨幣不僅能維持目前的便利性，更能夠能避免不肖人士利用加密貨幣洗錢，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。

8.1 提出的 BRTMS 架構還包括以下特色

1. 向建議的 BRTMS 進行商業註冊需經政府批准。
2. 所有出售的商品將受到政府審查。
3. 消費者仍然匿名以確保個人信息的隱私。
4. 消費者的交易記錄不能被刪除。
5. 如果消費者有關交易上訴的問題，他們需要提交交易發票或證明付款人或收款人地址的訪問權。
6. 所有交易記錄均公開透明。
7. 原始交易數據採用區塊鏈技術記錄，具有高度的可靠性，分散和未篡改的數據。
8. 政府可以檢查建議的 BRTMS 系統的交易記錄，以快速有效的方式審查稅務信息。

8.2 提議的 BRTMS 的優點總結

消費者 交易信息公開透明，保護消費者的權益。由於交易是可信的，並有明確的時間戳。當消費者需要上交他們的消費者權利時，他們可以從提出的系統中獲得更有效和可信的證據。

商家 企業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。這可以減少手動操作計算結果中的錯誤。統計數據甚至可以與商店的庫存管理相結合，使貨物和資金達到更加便利地進行統計，進一步改善業務的會計準確性和人工成本。

政府 在解決交易糾紛的過程中，可以提供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。考慮到稅收問題，政府可以審查具有高信譽的商業交易細節作為稅收計算程序，以定製徵稅標準，減少許多稅收糾紛。

参考文献

- [1] Satoshi Nakamoto. *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*, **2008**.
- [2] Charlie Lee. *Litecoin Official website*, **2011**. <https://litecoin.org>.
- [3] Billy Markus. *DogeCoin*, 2013-12. <http://dogecoin.com>.
- [4] Daniel Kraft. *Namecoin*, 2011-04. <https://namecoin.org>.
- [5] Sunny King. *Primecoin*, 2013-07. <http://primecoin.io/>.
- [6] Constantine Kryvomaz. *Ethereum Classic*, 2015-07. <https://ethereumclassic.github.io/>.
- [7] Ethereum Foundation Vitalik Buterin. *Ethereum*, 2015-07. <https://ethereum.org>.
- [8] *solidity*. <https://solidity.readthedocs.io/en/develop/>.
- [9] *Cryptocurrency Market Capitalizations*. <https://coinmarketcap.com/all/views/all/>.
- [10] John Gregor Fraser and Ahmed Bouridane. *Have the security flaws surrounding BITCOIN effected the currency's value?*, **2017**: 50–55.
- [11] 蔡怡杼. 银行员监守自盗手法有这些, 2017-10. <https://www.nownews.com/news/20171029/2633984>.
- [12] CM Adams and SE Tavares. *The use of bent sequences to achieve higher-order strict avalanche criterion in S-box design* [techreport], **1990**.
- [13] blockchain.info. *Blockchain Size*, **2018**. <https://blockchain.info/charts/blocks-size?timespan=all>.
- [14] 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.
- [15] Shen Noether and Sarang Noether. “*Monero is not that mysterious*”. *Technical report*, **2014**.
- [16] Emmanuel Bresson, Jacques Stern and Michael Szydlo. “*Threshold ring signatures and applications to ad-hoc groups*”. In: *Annual International Cryptology Conference*, **2002**: 465–480.
- [17] Ming Zhong. “*A faster single-term divisible electronic cash: ZCash*”. *Electronic Commerce Research and Applications*, **2002**, 1(3-4): 331–338.
- [18] 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>.
- [19] Thibault de Balthasar and Julio Hernandez-Castro. “*An Analysis of Bitcoin Laundry Services*”. In: *Nordic Conference on Secure IT Systems*, **2017**: 297–312.
- [20] Ayush Singh Panwar. “*Asymmetric Key Cryptography*”. *Browser Download This Paper*, **2014**.
- [21] Don Johnson, Alfred Menezes and Scott Vanstone. “*The elliptic curve digital signature algorithm (ECDSA)*”. *International Journal of Information Security*, **2001**, 1(1): 36–63.
- [22] 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.
- [23] Florian Mendel, Norbert Pramstaller, Christian Rechberger *et al.*; ed. by Sokratis K. Katsikas, Javier Lopez, Michael Backes *et al.* “On the Collision Resistance of RIPEMD-160”. In: *Information Security, 9th International Conference, ISC 2006, Samos Island, Greece, August 30 - September 2, 2006, Proceedings*. Springer, 2006: 101–116. https://doi.org/10.1007/11836810_8.
- [24] The Bitcoin Core developers. *Base58*, 2009. <https://github.com/bitcoin/bitcoin/blob/master/src/base58.cpp>.
- [25] *The Large Bitcoin Collider*. <https://lbc.cryptoguru.org>.
- [26] Tim Dierks. “The transport layer security (TLS) protocol version 1.2”. 2008.
- [27] Android Developers Blog. *Some SecureRandom Thoughts*, 2013-08. <https://android-developers.googleblog.com/2013/08/some-securerandom-thoughts.html>.
- [28] bitcoin.org. *Android Security Vulnerability*, 2013-08. <https://bitcoin.org/en/alert/2013-08-11-android>.
- [29] BurtW. *Bad signatures leading to 55.82152538 BTC theft*, 2013-08. <https://bitcointalk.org/index.php?topic=271486.0>.
- [30] 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.
- [31] Ron Rivest. “Rc4”. *Applied Cryptography by B. Schneier*, John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [32] Ronald L Rivest. “The RC5 encryption algorithm”. In: *International Workshop on Fast Software Encryption*, 1994: 86–96.
- [33] RL Rivest, MJB Robshaw, R Sidney *et al.* *The RC6 block cipher. v1. 1*, August 20, 1998, 2016.
- [34] Data Encryption Standard. “Data encryption standard”. *Federal Information Processing Standards Publication*, 1999.
- [35] American Bankers Association *et al.* “Triple Data Encryption Algorithm Modes of Operation”. *ANSI X9*: 52–1998.
- [36] Joan Daemen and Vincent Rijmen. *The design of Rijndael: AES-the advanced encryption standard*. Springer Science & Business Media, 2013.
- [37] Ronald L Rivest, Adi Shamir and Leonard M Adleman. *Cryptographic communications system and method*. Google Patents, 1983-9 20.
- [38] Neal Koblitz. “Elliptic curve cryptosystems”. *Mathematics of computation*, 1987, 48(177): 203–209.
- [39] Nicholas Jansma and Brandon Arrendondo. “Performance comparison of elliptic curve and rsa digital signatures”. *nicj.net/files*, 2004.
- [40] Léo Ducas, Alain Durmus, Tancrède Lepoint *et al.* “Lattice signatures and bimodal Gaussians”. In: *Advances in Cryptology–CRYPTO 2013*. Springer, 2013: 40–56.
- [41] 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.
- [42] Addy Yeow. *Global Bitcoin Node Distribution*. <https://bitnodes.earn.com/>.

致謝

原本就對比特幣區塊鏈技術深感興趣的我，來到了北京大學攻讀工程碩士學位。在這段期間深怕著會因為科系的關係而影響到了我的研究方向，在導師雙選了劉京老師，老師相當支持我做自己的研究，後來也見到了李傑教授，大力鼓勵著我繼續往科研的方向前進，老師的宏亮的聲音、霸氣的指導深植我心。段莉華老師也相當支持我做學術研究，因為段老師也一度的前往北京大學的校本部探討密碼學的研究。

在台灣實習的我來到了台灣最高學術研究機構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較無經濟壓力，也因為計劃上的補助，使我也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.”，參加了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，也要對與我合作的最佳夥伴江柏憲同學，我們共創了大學時期專題研究的第一名，這次我們也一舉奪下了 TANET 的最佳論文，相信都在我們的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，同時給予我最大的資源與協助，並總是指引我研究方向。

除了在諸位教授的諄諄教誨中，使我有機會完成這篇論文外，也要誠摯的感謝於二零一四年帶我認識比特幣的啟蒙老師楊哲豪先生，沒有他沒有現在多達三萬四千人的比特幣中文社群的社群，也不會給予我有這樣的機會了解比特幣的運作原理，更不會有現在的台灣比特幣產業鏈，奠定區塊鏈科技產業發展之基石。

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