

國立交通大學

資訊學院 資訊學程

碩士論文

藍牙型手機病毒之傳播模擬與防疫策略初探

The Simulations of Disseminating Bluetooth Worms for
Smartphone and Basic Immunization Assessment



研究生：彭添鴻

指導教授：孫春在 教授

中華民國九十七年六月

藍牙型手機病毒之傳播模擬與防疫策略初探

The Simulations of Disseminating Bluetooth Worms for
Smartphone and Basic Immunization Assessment

研究生：彭添鴻

Student：Tien-Hung Peng

指導教授：孫春在

Advisor：Chuen-Tsai Sun



A Thesis

Submitted to College of Computer Science
National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of
Master of Science

In
Computer Science

June 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十七年六月

藍牙型手機病毒之傳播模擬與防疫策略初探

學生：彭添鴻

指導教授：孫春在 教授

國立交通大學 資訊學院 資訊學程碩士班

摘要

智慧型手機的出現，帶給人類社會無比的便利，同時手機病毒卻也隱藏巨大的危險。近年來，由於智慧型手機的功能日漸強大，使得它的銷售與使用者數量急速增加。因為智慧型手機不但具有強大的功能，而且體積又小，攜帶方便。因此，漸漸的有取代其它的隨身電資產品的趨勢，成為人類日常生活的不可或缺的一部分了。智慧型手機的重要，興起了研究熱潮。除了了解它的重要功能之外，手機病毒所帶來的影響，更是眾所矚目。手機病毒主要分為”網路類型”、”簡訊類型”、與”藍牙類型”三種類型。前面兩種類型的傳播，已經有許多相關的研究。因此，本研究主要著重在，藍牙類型的病毒的傳播動態模擬。並且，加入所謂的防疫策略探討，讓相關單位，能對於它的性質有所了解。

欲研究疾病/病毒的傳播模擬與防疫策略，首先必須要建立適合的基礎網絡。智慧型手機的藍牙功能所構成的網絡，屬於人類社會的日常生活接觸網絡，亦是複雜網絡的一種。因此，我們的首要工作是，建立符合日常生活接觸網絡特性的基礎網絡，那就是擁有小世界與無尺度網絡的高群聚、低分隔度、與節點分支度採無尺度分布的特性。本研究，將首次使用二分關聯圖形理論，加上社會分身點概念，建立基礎網絡。再加上疾病傳播模型的應用，開發相關的傳播電腦模擬系統，來進行基本傳播動態模擬，與防疫策略的探討。

The Simulations of Disseminating Bluetooth Worms for Smartphone and Basic Immunization Assessment

Student : Tien-Hung Peng

Advisor : Chuen-Tsai Sun

Degree Program of Computer Science

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Currently, the Smartphone is the most famous electronic product of the world. It has many powerful and useful functions, and, brings much benefit to the human beings. The Smartphone has been very important in the human daily life in the last few years, and, has made it attractive to virus and worms. There are three type worms of the Smartphone, the MMS/SMS, the Internet, and the Bluetooth. In this paper, we would like to study about the Bluetooth worms, and, will develop a computer system to simulate the spreading of it, and then, we will discuss three kinds of the immunizations, the random, the target, the new method (we named it the vaccine spreading). To do the simulation for the Bluetooth worms, we need to build the related basic network, the contact network of the Bluetooth function, of the Smartphone. That is, we need to construct a human daily contact network as the basic network. According to many papers, the human daily contact network is a kind of the social network, and, should have three main properties, the high clustering, the low distance between any two nodes, and, the tail of the degree distribution follows the power law. We will use the bipartite graph method and the social mirror identity concept to construct the basic network, the human daily contact network, and, show that it will have the three main properties. Finally, we hope that our effort will help future research about the human daily contact network, the simulation about the virus/epidemics on that kind of network, and, the related immunizations.

誌謝

非常感謝指導教授，孫春在老師。孫老師的指導，有很特別的地方，那就是，不斷的引導我去發掘問題的重要性(why)，去發掘重要的問題，去找合適的問題，這才是研究的意義與目的。畢竟，研究的素養比研究成果重要的多，那才是我們最主要學習的目的。另外，我必須感謝崇源學長的鼎力相助，讓我能夠找到研究問題，到實驗方法、結果的呈現。沒有學長的幫忙，我絕對無法完成這歷史的任務。同時，我也要感謝在這段時間，陪我一起努力與成長的實驗室同學們，睿清，哲強，齡玉，俊偉，昌賢。因為有大家的共同努力，才能使我能堅持到最後，完成這個研究。此外，還有一些朋友與工作夥伴的關心，也一併感謝之。

最後，感謝我的父母與家人的支持。在這段時間，學業與家事無法完全兼顧。感謝您們的體諒與鼓勵，讓我無後顧之憂，能專心的在兩年的時間，完成這一項人生的重要目標。

目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	viii
圖目錄	.....	ix
一、	前言.....	1
二、	文獻探討.....	8
2.1	智慧型手機與其病毒之簡介.....	8
2.1.1	智慧型手機簡介.....	8
2.1.2	智慧型手機病毒簡介.....	9
2.1.3	開放架構之影響.....	12
2.2	複雜網絡介紹.....	13
2.2.1	規則網絡與隨機圖理論.....	13
2.2.2	小世界網絡(small-world network)模型	14
2.2.3	無尺度網絡(scale-free)模型.....	16
2.3	日常生活接觸網絡.....	17
2.3.1	二分關聯圖理論.....	18
2.3.2	社會分身點理論.....	20
2.4	電腦模擬的簡介.....	21
2.4.1	使用電腦模擬的時機.....	22
2.4.2	電腦模擬的應用.....	23
2.4.3	使用電腦模擬的優點.....	23
2.5	傳播模型介紹.....	24
2.5.1	SIR 傳播模型介紹.....	24
2.5.2	SIS 傳播模型介紹	26

2.6	防疫策略簡介.....	26
2.6.1	隨機免疫.....	26
2.6.2	目標免疫.....	26
2.6.3	熟人免疫.....	27
三、	模型架構與設計.....	28
3.1	模型架構.....	28
3.2	實驗模型設計.....	29
3.2.1	底層(日常生活接觸)網絡的建立.....	30
3.2.1.1	二分關聯網絡.....	30
3.2.1.2	日常生活接觸網絡之定義.....	35
3.2.1.3	日常生活接觸網絡之建構.....	36
3.2.2	病毒/疾病傳播模型的使用.....	39
3.2.2.1	病毒/疾病傳播模型.....	40
3.2.2.2	本實驗的傳播模型與狀態.....	41
3.2.3	防疫策略的使用.....	41
3.3	實驗模型製作.....	43
3.3.1	系統相關參數設定.....	43
3.3.1.1	底層(日常生活接觸)網絡相關參數設定.....	43
3.3.1.2	傳播模型相關參數設定.....	44
3.3.1.3	傳染率計算.....	46
3.3.1.4	防疫策略相關參數設定.....	47
3.3.2	系統的執行流程說明.....	47
四、	實驗與結果分析.....	49
4.1	日常生活網接觸網絡的建構與分析.....	49
4.1.1	群聚度分析.....	50
4.1.2	分隔度分析.....	50
4.1.3	節點分支度.....	51
4.1.4	網絡特性整理.....	52
4.2	智慧型手機藍牙病毒傳播動態模擬.....	52

4.2.1	網絡模型的選擇	52
4.2.2	傳播動態之實驗結果(無防疫策略使用)	53
4.2.2.1	高密度下之傳播動態	53
4.2.2.2	中密度下之傳播動態	54
4.2.2.3	低密度下之傳播動態	56
4.2.3	傳播動態之實驗結果整理(無防疫策略使用)	57
4.3	防疫策略之探討	59
4.3.1	實驗設定	59
4.3.2	實驗結果(高密度)	60
4.3.2.1	隨機免疫	60
4.3.2.2	目標免疫	65
4.3.2.3	目標免疫(場所)	69
4.3.2.4	疫苗主動擴散策略	73
4.3.3	實驗結果(中密度)	77
4.3.3.1	隨機免疫	77
4.3.3.2	目標免疫	78
4.3.3.3	目標免疫(場所)	79
4.3.3.4	疫苗主動擴散策略	80
4.3.4	實驗結果(低密度)	81
4.3.4.1	隨機免疫	81
4.3.4.2	目標免疫	82
4.3.4.3	目標免疫(場所)	83
4.3.4.4	疫苗主動擴散策略	84
4.3.5	實驗結果整理	85
4.4	實驗總結	85
五、	結論	89
5.1	研究結論	89
5.2	未來之發展方向	90
參考文獻		92

表目錄

表 1	手機病毒分類與說明表	11
表 2	原始 2007 年行政院之靜態人口調查報告	32
表 3	修改 2007 年行政院之靜態人口調查報告	33
表 4	底層網絡相關參數設定	44
表 5	傳播模型相關參數設定	45
表 6	防疫策略相關參數設定	47
表 7	實驗參數設定(個體數與場所數搭配)	49
表 8	網絡群聚度結果表	50
表 9	網絡分隔度結果表	50
表 10	網絡節點分支度結果表	51
表 11	網絡特性整理表	52
表 12	防疫強度與效果比較表(高密度_隨機免疫)	63
表 13	成本效益比較表(高密度_隨機免疫)	64
表 14	成本效益總表(高密度_隨機免疫)	64
表 15	防疫強度與效果比較表(高密度_目標免疫)	67
表 16	成本效益比較表(高密度_目標免疫)	68
表 17	成本效益總表(高密度_目標免疫)	68
表 18	防疫強度與效果比較表(高密度_目標免疫_場所)	71
表 19	成本效益比較表(高密度_目標免疫_場所)	72
表 20	成本效益總表(高密度_目標免疫_場所)	72
表 21	防疫強度與效果比較表(高密度_疫苗主動擴散策略)	75
表 22	成本效益比較表(高密度_疫苗法免疫)	76
表 23	成本效益總表(高密度_疫苗法免疫)	76
表 24	成本效益總表(中密度_隨機免疫)	77
表 25	成本效益總表(中密度_目標免疫)	78
表 26	成本效益總表(中密度_目標免疫_場所)	79
表 27	成本效益總表(中密度_疫苗主動擴散策略)	80
表 28	成本效益總表(低密度_隨機免疫)	81
表 29	成本效益總表(低密度_目標免疫)	82
表 30	成本效益總表(低密度_目標免疫_場所)	83
表 31	成本效益總表(低密度_疫苗主動擴散策略)	84
表 32	防疫策略之成本效益總表	85
表 33	疫苗法的成本效益再分析	87
表 34	疫苗法的成本效益再分析 2	88

圖目錄

圖 1	智慧型手機功能簡介	8
圖 2	智慧型手機銷售統計	9
圖 3	智慧型手機成長統計	9
圖 4	手機病毒成長統計	10
圖 5	智慧型手機作業系統市占率預估	13
圖 6	平均分隔度實驗	14
圖 7	小世界現象的實驗	16
圖 8	Poisson 分佈	16
圖 9(a)	節點分支度成曲線分佈	17
圖 9(b)	轉換後得到冪次律表示圖	17
圖 10	二分關聯網絡	18
圖 11	二分關聯網絡轉換成一般網絡	20
圖 12	社會分身點概念圖	21
圖 13 (a)	Compartmental SIR Model	25
圖 13 (b)	狀態轉換公式	25
圖 14	二分關聯網絡	31
圖 15	系統模型架構圖	36
圖 16	將二分關聯網絡轉換成日常生活接觸網絡	37
圖 17	時間交集的上限範例圖	38
圖 18	時間交集的下限範例圖	38
圖 19	SIS 與 SIR 傳播模型示意圖	40
圖 20	系統個體狀態轉換圖	41
圖 21	日常生活接觸網絡	46
圖 22	日常生活接觸網絡建立流程圖	48
圖 23	電腦模擬執行流程圖	48
圖 24	基本傳播動態圖(高密度_小網絡為例)	53
圖 25	傳播動態圖(不同網絡大小比較, 高密度)	53
圖 26	傳播動態圖(不同傳染率比較, 高密度_小網絡為例)	54
圖 27	基本傳播動態圖(中密度_小網絡為例)	55
圖 28	傳播動態圖(不同網絡大小比較, 中密度)	55
圖 29	傳播動態圖(不同傳染率比較, 中密度_小網絡為例)	56
圖 30	基本傳播動態圖(低密度_小網絡為例)	56
圖 31	傳播動態圖(不同網絡大小比較, 低密度)	56
圖 32	傳播動態圖(不同傳染率比較, 低密度_小網絡為例)	57

圖 33	不同密度下，個體接觸比較圖·····	58
圖 34	不同網絡大小之場所容納個體數比較圖·····	58
圖 35	傳播高峰期分析圖·····	60
圖 36	傳播動態圖(高密度_隨機免疫)·····	61
圖 37	防疫策略使用時機比較圖(高密度_隨機免疫)·····	62
圖 38	傳播動態圖(高密度_目標免疫)·····	65
圖 39	防疫策略使用時機比較圖(高密度_目標免疫)·····	66
圖 40	傳播動態圖(高密度_目標免疫_場所)·····	69
圖 41	防疫策略使用時機比較圖(高密度_目標免疫_場所)·····	70
圖 42	傳播動態圖(高密度_疫苗主動擴散策略)·····	73
圖 43	防疫策略使用時機比較圖(高密度_疫苗主動擴散策略)·····	74
圖 44	防疫策略使用時機比較圖(中密度_隨機免疫)·····	77
圖 45	防疫策略使用時機比較圖(中密度_目標免疫)·····	78
圖 46	防疫策略使用時機比較圖(中密度_目標免疫_場所)·····	79
圖 47	防疫策略使用時機比較圖(中密度_疫苗主動擴散策略)·····	80
圖 48	防疫策略使用時機比較圖(低密度_隨機免疫)·····	81
圖 49	防疫策略使用時機比較圖(低密度_目標免疫)·····	82
圖 50	防疫策略使用時機比較圖(低密度_目標免疫_場所)·····	83
圖 51	防疫策略使用時機比較圖(低密度_疫苗主動擴散策略)·····	84
圖 52	防疫策略使用時機比較圖再分析(疫苗主動擴散策略)·····	88



一、前言

1.1 研究動機

智慧型手機可以說是時下最流行、最熱門的消費型電子產品。一般的定義，智慧型手機指的是，具有開放架構、整合個人資訊管理功能(Personal Information Management, PIM)、和行動通訊功能的一種隨身裝置[1]。也就是說，除了有一般傳統手機的通訊能力外，它還具有多媒體（電視、電影、音樂播放、相機等等）、網路連線、簡訊傳送(Simple Message Service/Multimedia Message Service, SMS/MMS)、與藍牙(Bluetooth)連結功能。因此，它幾乎可以當作好幾種的數位設備。

近年來，由於智慧型手機強大的功能與便利性，使得它的銷售與使用者數量急遽增加。根據調查，智慧型手機的銷售量，在 2007 年已經突破了一億隻，並且在 2012 年將會超過十億隻[2]。而智慧型手機用戶，在 2009 年則可望超過三億五千萬[3]。另外，資料顯示，目前傳統手機的數量約是 20 億隻，這些都是智慧型手機的潛在市場。也就是說，智慧型手機的數量，在不久的將來，將可望超過三分之一的世界人口數。那才是智慧型手機真正發揮影響力的時刻[3]。此外，因為體積小所以攜帶方便，它已經成為人類的隨身數位裝置，是日常生活不可或缺的一部分了。

智慧型手機的重要，興起一波研究熱潮。除了了解它的重要功能之外，手機病毒所帶來的影響，更是受到大家重視的議題。根據統計，自 2004 年第一支手機病毒出現以來，到 2006 年已經有超過三百種了，成長驚人[3]。不過，礙於當時手機系統雜亂(Windows、Linux、自有系統，等等)，病毒無法跨越平台，來感染其他系統的手機，所以，並無大規模的損失情形。然而，這種情況將會因開放架構(或是統一平台)的趨勢而完全改變。最近，Google 支持的開放平台聯盟(Open

Handset Alliance)與微軟的行動系統(Microsoft Mobile)已逐漸成為市場的新勢力，讓智慧型手機系統有朝統一的趨勢。這不但使得手機間可以互相交換訊息，更使得手機病毒很容易找到下一個受害者。手機一旦感染病毒，輕則造成設備損壞無法使用、個人財產損失、與私人資料外流；重則癱瘓地區的通訊系統，或是做為軍事電子戰的媒介，造成國家社會動盪，因此不可不慎。


目前，手機病毒的研究，著重於它的感染特性與途徑。也就是，網際網路(Internet)、簡訊(SMS/MMS)、與藍牙(Bluetooth)裝置。早期的研究，主要在於裝置硬體方面。如手機裝置與基地台的連線情況，對於簡訊(SMS/MMS)病毒的關係[4]；或是手機個體間的藍牙(Bluetooth)裝置連線情況，對藍牙(Bluetooth)病毒傳染力的影響[5, 6]等等。這些研究的目的，在於找出手機裝置的設計，對於病毒的傳播影響。例如，網路連線品質、頻寬、手機訊號、與藍牙(Bluetooth)連線之特徵等等。

另外，自從使用電腦系統，模擬複雜網絡(電腦網絡、社會網絡、生物網絡等等的統稱)之病毒/疾病傳播動態的研究興起，替病毒/疾病的研究開展了一個新的方向[7]。如電腦病毒相關的傳播模擬[8]，或是人類流行疾病的電腦動態研究[9]等等。這類型的研究，主要在於創建適合的病毒關係網絡，再建立電腦模擬系統。從模擬病毒/疾病的傳播動態中，找到對於疫情的控制或是防疫的策略，讓病毒/疾病的損害降低。

同樣的，本著預防重於治療的精神。本研究的最主要目的，則是提出一個更精確的模擬模型，用來模擬智慧型手機病毒的傳播動態，並且，探討一些基本與新式的防疫策略之結果。所謂，凡事豫則立，不豫則廢！防範未然，讓有關權責單位，能充分的對這種尚未發生的災害有所了解，並找出因應之道。

1.2 問題描述

使用電腦模擬，研究複雜網絡之事件的傳播動態時，首先必須要建立底層網絡架構。例如，人類流行病的研究，是屬於人類社會網絡相關；電腦病毒的研究，是屬於電腦網絡相關。但是，電腦網絡與社會網絡都只是眾多網絡的集合。電腦網絡可以根據大小等性質，分為區域網絡、網際網絡、全球資訊網絡(World Wide Web, WWW)等等；社會網絡，則可以分為人際關係網絡、接觸網絡、性關係網絡等等。由於，各種的網絡的構成特性不盡相同，因此，在這些網絡上的事件傳播動態，也是迥異的。所以，清楚明瞭目標網絡的性質，才能建構出合適的底層網絡架構。所以，我們必須先了解智慧型手機病毒的網絡型態。依據病毒傳染的途徑，分析如下：

- 
1. 網際網絡(Internet)類型：透過使用者的網際網絡連線需求，讓病毒有機會入侵，造成感染。此類型的基礎網絡，是屬於電腦網絡。
 2. 簡訊(SMS/MMS)類型：透過發送簡訊，給感染者的手機通訊錄上面所有聯絡人，達到傳染目的。很明顯的，這種網絡是由手機通訊錄來構成，它是屬於人際關係網絡。
 3. 藍牙(Bluetooth)類型：透過兩個手機個體的藍牙(Bluetooth)裝置連結，來交換資料，造成病毒的傳播。這種網絡，是因為使用者間的接觸，才讓藍牙(Bluetooth)裝置有機會連線。是屬於人類的接觸網絡。

另外所謂網絡，是由個體(或稱為節點)與關係(邊)所構成的。因此，建構底層網絡時，最重要的是需要個體間的關係資訊。例如，電腦區域網絡，必須收集終端電腦與集線器(HUB)的關係、集線器(HUB)之間的關係等等；接觸網絡，必須要調查個體與個體之間的接觸關係、近距離或是短距離接觸、接觸時間等等；人際關係網絡，必須得到人與人所謂的人際關係。而人際關係，通常指的是時常

接觸的親朋好友。如家裡的成員、住家附近的鄰居、學校同學、與公司同事等等。同時，還包括曾經有所互動關係的個體。如遠房親戚、以前同學同事、久未聯絡的朋友、與一面之緣的點頭之交等等。基本上，網絡的資訊，可經由問卷調查來獲得。但是，有時其成效卻不盡理想。原因如下：

1. 有些個體間的關係，屬於個人私密資料，因此取得困難。如手機或是電子郵件通訊錄的人際關係網絡。
2. 有些個體間的關係，定義模糊，無法明確取得。如日常生活接觸網絡，包含著與個人擦肩而過的陌生人，這種資訊卻無從收集。
3. 有些個體間的關係，變動太大。如日常生活接觸網絡，個人每天搭車、用餐、或是逛街等等，所接觸的其他個體，並不是固定的。因此，問卷調查無法呈現這種快速的變化。
4. 詳細問卷普查的執行，必須花費大量人力、物力、與財力，並非一般實驗室層級可以擁有的能力。

過去，對於複雜網絡事件之動態的電腦模擬研究，主要是使用傳統的底層網絡(如均勻網絡，隨機網絡，完全網絡等等)，模擬的結果，往往與現實社會不大相符。因此，有一些專家學者就提出改進的理論(如小世界網絡[10]，無尺度網絡[11]等等)，來改良模擬的準確度。另外，近年來也有不少的先進們，提出更符合真實的模型，例如：

1. Huang 在 2005 年，提出以社會分身點概念，來表達人類個體在一天之中，固定拜訪某些場所[12]。使用這種概念來建構一個符合小世界性質的接觸網絡。
2. Longini 等人在 2004 年，提出使用一些真實的統計資料，來建立族群，以表現真實的生活環境[13]。以此結果來找出那些容易造成疾病傳染的公共場所，並透過個體在場所間的接觸關係，來建立一種接觸網絡。

綜觀上述新的概念，最主要的，莫過於增加新的細節，來描述真實社會數據，讓模型能夠更符合真實世界現象。然而，經由區域普查所得到的資料，雖然可以代表該地區的實際情況。但是，卻並不一定可以適用於他處，或是整個世界。另外，該類資料也僅僅能夠表現出某段時間區域的情形。資料後製處理之後的系統，往往因須花費龐大的時間，使得原本要研究的網絡，已經有重大的改變了。因此，根據這些問題，我們可以總結如下：

1. 問卷調查收集的數據，可以當作參考，並且使用來做結果之一的驗證，並非全部。
2. 真實世界的網絡，個體之間的關係，很有可能是動態且快速改變，並且有所限制(如電腦網絡可能受限於頻寬、接觸網絡可能受限於個體單位時間的接觸數目等等)。
3. 接觸型病毒的傳播，主要是由近距離的接觸，所以感染是屬於隨機發生，並非只是產生於特定的關係中。

所以，我們必須要提出更精確的網絡模型，來呈現與描述智慧型手機病毒所構成的基本網絡。並且，靈活的應用調查的結果，來提高病毒傳播動態的模擬準確度。然後將相關結果，探討有關的防疫策略，與新的阻絕方法之優劣。

1.3 研究目標

本論文主要著重於，(開放平台之)智慧型手機病毒的傳播研究。由於此類手機近一兩年才(將)正式成為主流。因此，尚未有大量病毒的損害報告可供參考與驗證。也就是說，我們僅將實驗結果，當作研究與預測。另外，除了藍牙(Bluetooth)類型的病毒之外，其他兩種(電腦網絡與簡訊)類型都有不少相關的研究報告。因此，本論文將會把目標，放在藍牙(Bluetooth)類型的病毒之傳播動態。詳細列於

下：

1. 利用複雜網絡理論，建構藍牙(Bluetooth)類性手機病毒底層網絡。由於手機只是人類的行動助理，本身並無意志。也就是說，人類的行動，才是構成該類網絡的主角。所以，分析結果，該類型網絡屬於日常生活接觸網絡。本研究將利用二分關聯圖型理論，建立人與場地的關連，再轉換成為人與人之間的日常生活接觸網絡。
2. 使用基本的 SIR 與 SIS 病毒/疾病傳播模型，建構電腦模擬系統。用來呈現該類智慧型手機病毒的傳播動態報告。
3. 探討基本防疫策略(隨機免疫與目標免疫)對於該類智慧型手機病毒傳播的影響。
4. 提出新的防疫手段，並且比較這些策略的優劣與適用性。

另外，我們將實驗的模型分成三個部分來研究，如下所示：

1. 個體：原本是指手機個體。本系統中，由於手機只是人類的隨身用品。因此，我們將手機與人類做緊密結合，形成一種新的個體。
2. 傳播模型：不同於人類疾病的傳染方式，手機病毒與電腦病毒一樣，是一種程式碼。病毒的感染沒有潛伏期，因此，傳播速度極為快速。
3. 日常生活接觸網絡：收集人口之年齡與分身點等分佈情況，再配合複雜網絡與圖形理論，建構此一基本網絡。

1.4 論文結構

本篇論文的撰寫編排與結構如下：

第一章『前言』：本章提出本研究的研究動機，問題描述，研究目標，與論

文結構。主要在於，說明為何制定本論文題目，與欲解決的問題。

第二章『文獻探討』：本章包含理論基礎，相關研究，與研究定位等。主要在於，解說本論文的理論之歷史與背景。包含基礎網絡之建構(複雜網絡與圖形理論)、與病毒/疾病傳播模型之使用等等。

第三章『研究方法與實驗設計』：本章包含基本架構，模組功能說明，方法與流程，設計理念，與系統特色。主要在於，提出新的方法，來建構底層網絡架構。並且說明，如何將調查資訊，使用在電腦模擬系統之製作。

第四章『實驗結果與分析』：本章包含實驗設計，系統製作，實驗時程與流程，結果分析，與實驗結論。主要在於，統計新的底層架構之複雜網絡性質(群聚性、分隔度、與節點分支度的分佈情況)。另外，分析電腦模擬的結果，做為訂定防疫策略的建議。

第五章『結論』：本章包含，本研究的結果呈現，成果彙整和結論，與研究之延伸及未來之發展。



二、文獻探討

2.1 智慧型手機與其病毒之簡介

2.1.1 智慧型手機簡介

智慧型手機(smartphone)可以說是時下最流行、最熱門的消費型電子產品。智慧型手機之所以冠上[智慧型]這個形容詞，並不在於它擁有強大的人工智慧，可以思考，而是在於它華麗且多樣化的功能。一般對於智慧型手機的定義是，具有開放架構、整合個人資訊管理功能(PIM)、和行動通訊功能的一種隨身裝置[1]。因此，它不但具有傳統手機的通訊能力，它還具有多媒體（電視、電影、MP3 播放、相機等等）、網路連線(Internet)、簡訊傳送(SMS/MMS)、與藍牙(Bluetooth)連結功能。所以，它是一機多用的數位設備。



圖 1 智慧型手機功能簡介

通訊科技的發展，在上世紀(二十世紀)末九零年代，將電話變成可攜帶式的，創造了手機(或稱行動電話)，也替人類的生活開創新的局面[14]。近幾年來，拜人類慾望所賜，也因電子與數位科技的發展成熟，讓行動通訊的發展朝向新的領域，那就是智慧型手機的出現。它的強大功能，可以同時滿足人類的多種電子數位方面的需求，它的微小，可以讓人類隨身攜帶，無時無刻離不開它。因此，

短短的幾年，它的銷售量已經大幅成長，產值與獲利亮眼。根據調查，智慧型手機的銷售量，在 2007 年已經突破了一億隻，並且在 2012 年將會超過十億隻[3]。在 2013 年它將佔全部手機市場的百分之 31[15]。而智慧型手機用戶，在 2009 年則可望超過三億五千萬[3]。另外，資料顯示，目前傳統手機的數量約是 20 億隻，這些都將會是智慧型手機的潛在市場。也就是說，智慧型手機的數量，在不久的將來，將可望超過三分之一的世界人口數。到那時才是智慧型手機真正發揮影響力的時刻[3]。此外，因為攜帶方便，它已經成為人類的隨身數位裝置，是日常生活不可缺少的一部分了。

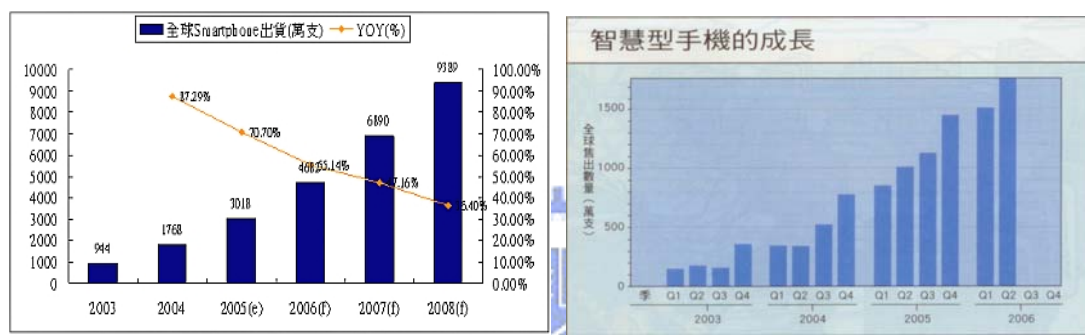


圖 2 智慧型手機銷售統計

圖 3 智慧型手機成長統計

資料來源：[16]

資料來源：[3]

2.1.2 智慧型手機病毒簡介

智慧型手機的重要性已經是無庸置疑的了，因此相關的研究，也越來越熱門。一般的研究分為兩類，一類是關於如何增強智慧型手機的功能，另一類卻是關於它的強大功能所帶來的影響。智慧型手機的負面影響，最重要的應該算是手機病毒了。如同電腦病毒，手機病毒也是一種程式碼。因此，不可以單獨存在於電子產品的電路當中，它必須要有生存的空間，那就是手機平台(或稱為作業系統)。根據統計，自從 2004 年第一支手機病毒(食人魚--Cabir)出現以來，到 2006 年已經有超過三百種了，成長驚人[3]。

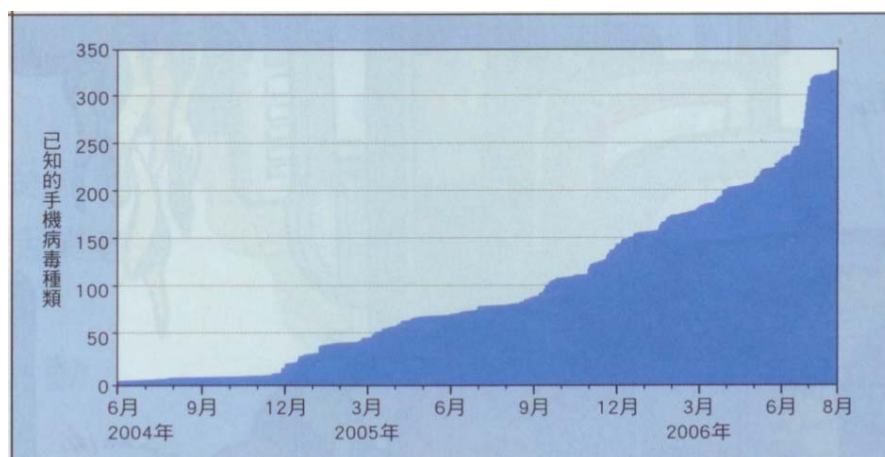


圖 4 手機病毒成長統計

資料來源：[3]

目前，根據病毒的傳染特性可分為：

1. 用戶主動：此種病毒的傳染，是由於(受感染手機)用戶的主動行動，而造成病毒有機會與外界接觸，因而找到受害個體(手機)。例如，特洛伊木馬類型的病毒。因為手機用戶主動在網路上執行下載(某些軟體)的動作，而受到了感染。
2. 病毒主動：此種病毒的傳播，是由(受感染手機)病毒本身的主動行為，來執行感染目的。例如，CommWarrior 病毒，它可以在使用者不知情的情況下，主動將含有病毒的簡訊(SMS/MMS)發送給其它的手機個體，來傳播。因此，可謂神不知，鬼不覺，相當可怕。

因此，這類能夠主動造成傳染的病毒，是許多研究的焦點。另外，根據病毒的傳播途徑可分為下列三種：

1. 網際網絡(Internet)：網際網絡連線(有線或是無線連結)功能是智慧型手機劃時代的設計，它讓智慧型手機從此能夠擁有更接近電腦的功能。不過，也將電腦病毒的傳播模式，帶進智慧型手機的世界。顧名思義，此

種病毒是經由網絡連線的方法來傳播病毒，並且，在電腦病毒相關領域已經有許多的研究了。很明顯的，這類的病毒所構成的傳播網絡，是屬於電腦網絡。

2. 簡訊(SMS/MMS)：搭配著手機基本的通訊功能，簡訊(SMS/MMS)功能很早就是手機的基本配備了。此種病毒的傳播，是藉由將含有病毒的簡訊，傳送給該手機之通訊錄上面的所有聯絡人，來達到傳播目的。由於，簡訊的傳送，只有受限於電波訊號，因此可謂是無遠弗屆。另外，從它的傳播方法，我們可以了解，這種病毒所構成的底層網絡，屬於手機通訊錄所構成的人際關係網絡，是社會網絡的一種[4]。
3. 藍牙(Bluetooth)：藍牙功能的加入，讓手機能夠很方便的與其他手機個體交換檔案，簡直讓手機如虎添翼。一般來說，手機廠商對於藍牙功能的初始設定是開啟的，而且手機用戶也通常不會主動將她關閉。因此，讓藍牙類型的病毒有機會入侵。另外，藍牙功能的使用，必須是兩個手機個體有短距離的接觸[6]。當然，這必須是使用者間的接觸造成的。因此，我們可以很容易了解，這種病毒的傳播網絡，是屬於人類的接觸網絡，是社會網絡的一種。

表 1 手機病毒分類與說明表

名稱	程式單元與感染方式	作用	分類
Calci (Jan 2004)	簡訊-傳到藍牙手機	利用手機通訊的漏洞	用戶-被動 病毒-主動 媒介-Bluetooth
CommWarrior (Mar 2004)	簡訊-傳到藍牙 SMS/MMS/SIM 簿 SMS/MMS 簿及 SIM 簿 通訊簿的號碼	簡訊-傳到通訊簿 MMS 簿及通訊簿 號碼	用戶-被動 病毒-主動 媒介-SMS/MMS
Dosmbot (Jul 2004)	病毒在 SIM 卡製造廠 的設備上, 且不可使 用者下載安裝	讓手機無法開機	用戶-主動 病毒-被動 媒介-Internet
RedHoney (Feb 2004)	病毒在 SIM 卡製造廠 的設備上, 且不可使 用者下載安裝	將手機通訊簿內號碼 的 SIM 卡號碼與 通訊簿內號碼互換	用戶-主動 病毒-被動 媒介-Internet
FileSpy (Mar 2006)	間諜軟體-不自覺地 被安裝	將通訊簿內號碼 通訊簿內號碼 與通訊簿內號碼互換	用戶-主動 病毒-被動 媒介-Internet

釣魚詐騙:
假的網頁, 電子郵件或簡訊, 用來騙取使用者的密碼, 金融資料或其它隱私資料。

間諜軟體:
用來偷取使用者或電腦系統的隱私資料。

特洛伊木馬:
偽裝為程式, 但藏匿惡意程式碼在其中。

病毒:
原指一種程式碼, 它會自行寄生在其它程式內, 並趁著宿主軟體運作時自我複製, 但是現在[病毒]已經成爲一種通稱, 特洛伊木馬與蠕蟲也包括在內。

蠕蟲:
可自我複製且自動在網路上散播的程式碼。

資料來源：[3]

目前，手機病毒的研究，著重於它的感染特性與途徑。也就是，網際網路(Internet)、簡訊(SMS/MMS)、與藍牙裝置。早期的研究，主要在於裝置硬體方面。如手機裝置與基地台的連線情況，對於簡訊(SMS/MMS)病毒的關係[17]；或是手機個體間的藍牙裝置連線情況，對藍牙病毒傳染力的影響[5, 6, 18, 19]等等。這些研究的目的，主要在於找出手機裝置的設計，對於病毒的傳播影響。例如，網路連線品質、頻寬、手機訊號、手機距離、與藍牙連線之程序等等。

2.1.3 開放架構之影響

早期的智慧型手機系統相當雜亂(Symbian、Windows、Palm、Linux、自有系統，等等)，因此病毒無法跨越平台，來感染其他系統的手機，所以至目前為止，並無大規模的損失情形。然而，這種情況將會因開放架構的趨勢而完全改變。最近，Google 支持的開放平台聯盟(Open Handset Alliance [20])與微軟的行動系統(Microsoft Mobile)已逐漸成為市場的新勢力，讓智慧型手機系統有朝統一的趨勢。這不但使得手機間可以方便的互相交換訊息，更使得手機病毒很容易找到下一個受害者。手機一旦感染病毒，輕則造成設備損壞無法使用、個人財產損失、與私人資料外流；重則，癱瘓地區的通訊系統、或是做為軍事電子戰的中介，造成國家社會動盪，因此不可不慎。

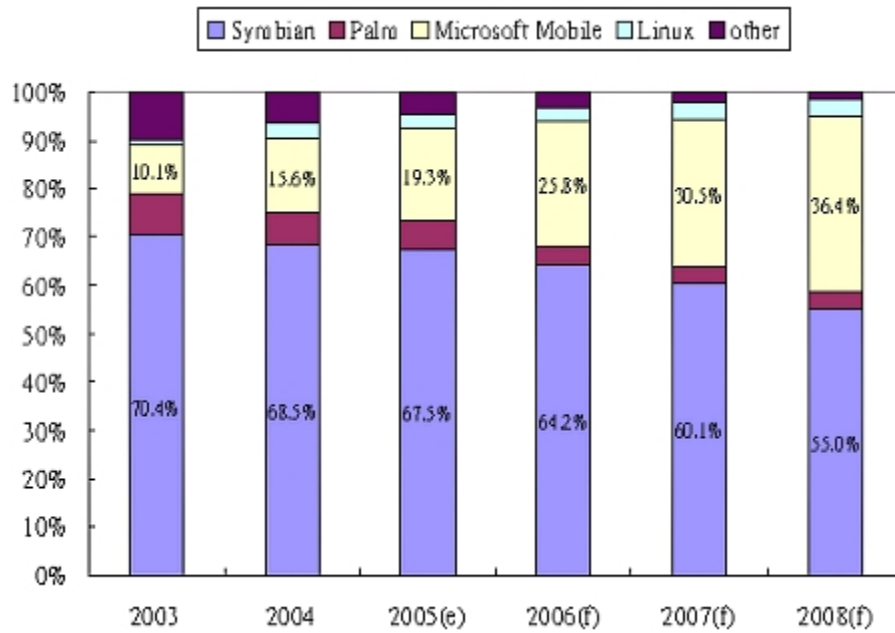


圖 5 智慧型手機作業系統市占率預估

資料來源：[16]



2.2 複雜網絡介紹

由上一小節的分析，我們可以將智慧型手機病毒(傳播)的網絡，分為電腦國際網絡、人際關係網絡、與日常生活接觸網絡三種。因此，我們必須要了解它們的特性。目前，這類的研究，屬於所謂的複雜網絡相關。而複雜網絡的最重要問題為，群聚度、分隔度、與節點分支度。我們將在接下來的幾個小節，介紹本研究相關的複雜網絡。

2.2.1 規則網絡與隨機圖理論

規則圖(regular graph)與隨機圖(random graph)都是圖學中的重要理論。規則圖理論的最主要定義在於，圖形中的任一兩個節點之間，都有一個邊相連接。因此，我們可以知道，對於一個擁有節點數 n 的圖形，規則圖所擁有的邊數最多，

那就是 $\frac{n}{2} \cdot (n-1)$ 。同時，我們還可以發現，規則圖裡面的任一個節點與其它某個節點的距離等於 1，而且它的分支度等於 $(n-1)$ 。

隨機圖理論是由 20 世紀初的著名數學家 Erdos 與 Renyi 所建立的[21]，它的主要性質是：

1. 模型中，任意兩個節點之間有一條邊相連接的機率都為 p 。因此，一個含有 n 個節點的 ER 隨機圖中，邊的總數是一個期望值，其值為 $p \cdot (\frac{n}{2} \cdot (n-1))$ 。
2. 此理論的最重要發現是，ER 隨機圖的許多重要的性質，都是突然湧現的。也就是說，對於任一給定的機率 p ，要麼幾乎每一個圖都具有某個性質，要麼幾乎每一個圖都不具有該性質。

2.2.2 小世界網絡(small-world network)模型

1967 年，Milgram 等人的實驗，將盛傳於社會學界的謎題，轉換成可以執行的問題，其實驗結果，開啟了複雜網絡研究的新紀元，那就是小世界網絡[22]。

1. 問題：即使我不認識你，但我認識甲，甲認識乙，以又認識丙，最後某人會認識你。那麼，在這條人際關係鏈中，有幾個中間人(How many intermediaries are needed to move a letter from person A to person B through a chain of acquaintances)?
2. 實驗：從美國的內布拉斯加州俄馬哈市，隨機選取數百個人，把信交給他們。這些信有個目標對象，是麻薩諸塞州波士頓市的證券業務員莎朗。信件傳遞規則是，收信者只能把信寄給她們認識的

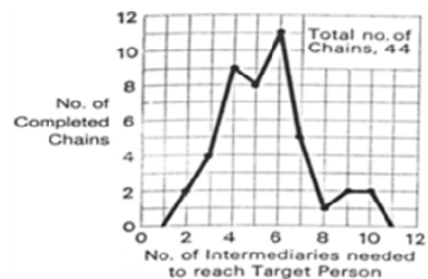


圖6 平均分隔度實驗

人。如果收信者原本就認識莎朗，直接寄給她即可；否則，就先寄給某

個比較接近目標的熟人。

3. 結果：實驗得到的結果令大多数人感到訝異。原本大家想像這種傳遞次數一定是很大的。但是結果顯示，平均值卻是六，非常的小。

這也就是所謂的，人與人之間的分隔度，平均是六(所謂的六度分隔)。這是複雜網絡研究的第一個重要特性，分隔度的問題。另外，真實世界中還有一個非常普通卻重要的特性，那就是所謂的三角閉合現象。(高)群聚度的問題，是複雜網絡的第二個重要研究性質。

1. 高群聚性：顯現出真實的人類社會裡的人際關係緊密現象。例如：Alex 認識 Barbara，而 Barbara 認識 Chris，那麼 Alex 和 Chris 彼此很可能認識。這種彼此互相認識的人形成一個很緊密的群體(如，家人、同學、朋友等等)。也就是，物以類聚(或人以群分)的現象。

一直到 1998 年，Watts 等人經由理論與實際建構，驗證了低分隔度與高群聚性的特性[23]。他們的方法如下：

1. 從規則圖開始：使用一個含有 n 個節點的(nearest-neighbor coupled network)，並且將它們圍成一個環，其中每個節點都與它左右相鄰的各個 $\frac{k}{2}$ 節點相連， k 是偶數。
2. 隨機化重連：以機率 p 隨機地重新連接網絡中的每個邊，即將邊的一個端點保持不變，而另一個端點取為網絡中隨機選擇的一個節點。其中規定，任意兩個不同的節點之間至多只能有一條邊，並且每一個節點都不能有邊與自身相連。

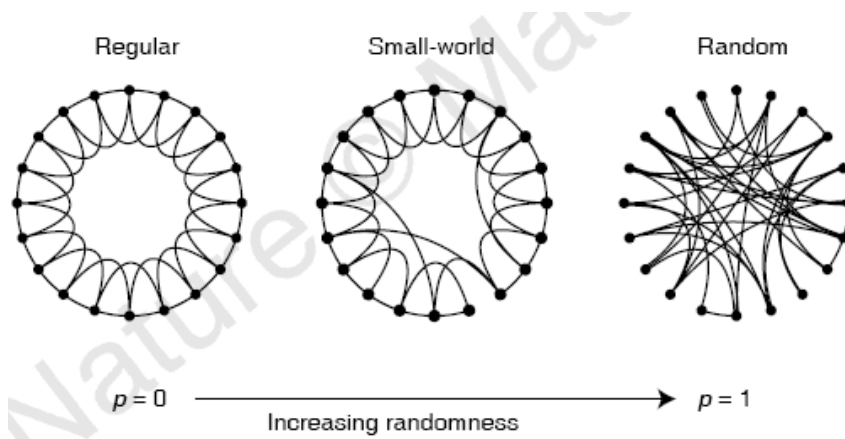


圖 7 小世界現象的實驗

資料來源：[23]

如此，Watts 等人發現，在規則網絡中，隨機加入一些長距離的捷徑，就可以讓整個網絡的分隔度降低。而這些長距離的連結，在現實生活中，對於病毒/疾病的動態傳播，有著很重要的影響。例如，某群組中流行的電腦病毒，很可能就會因為該群組中的一部電腦，與另一群組的某部電腦有(長距離)直接連結，因而將電腦病毒快速的擴散至另一個群組。或是例如，鄧肯家住台北，他每天要搭高鐵往返台南科學園區。若鄧肯在台北感染了流行疾病，那麼，他在台南的同事將很容易(快速)的被感染。也就是說，疾病可以很容易的從一個區域傳播到另一個區域。這就是這種長距離的連結的影響力。

然而，Watts 等人的實驗與網絡的建構方式，並不能完全符合真實世界網絡的發展。原因是，他使用一種高處(局外)的管控方式，來調整網絡的間的關係。也就是使用外力的干擾方式，違反了真實世界的演化。

2.2.3 無尺度網絡(scale-free)模型

與 Watts 等人同時間的研究，卻朝另一個方向。Barabasi 和 Albert 在 1999 年的實驗，提出了複雜網絡的第三個特性，節點分支度

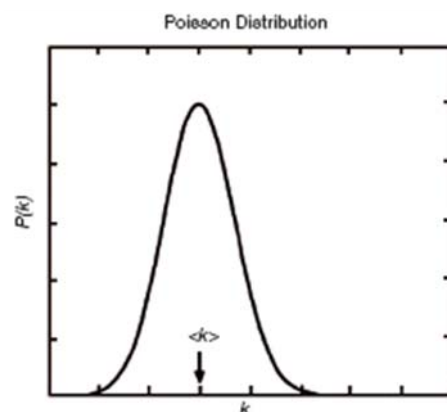


圖 8 Poisson 分佈

的分布問題[24]。Watts 等人的小世界模型與其他如 ER 隨機圖，有一個共同現象，那就是節點的分支度的分佈是近似 Poisson 分佈(圖 8[25])。然而，近年來複雜網絡的研究有另一個重大的發現，那就是，有許多的網絡(包含電腦網絡、社會網絡、與生物網絡等等)，它的節點分支度分佈是成一種曲線方式(圖 9[25])。Barabasi 和 Albert 提出了一種模型，被稱為 BA 模型，它有兩種特性：

1. 增長(growth)特性：即網絡規模是不斷擴大的。例如，每個月都會有大量的新的科學研究文章發表，WWW 上每天都會有大量產生新的網頁等等。
2. 優先連接(preferential attachment)特性：即新加入的節點，有傾向與那些具有高分支度的節點相連接。例如人們常常會去人多的地方逛街、吃飯、壓馬路等等。這種現象又稱為，富者越富或是馬太效應[26]。

這是複雜網絡的第三個重要特性，節點分支度呈曲線分布(冪次律)。這對於人際關係網絡而言，人際關係越好的人，通常越容易交到新的朋友；對於接觸網絡而言，越熱鬧的場所，越容易吸引客人；或是，大部分的人，每天所接觸的人不多(如學生、上班族等等)，但是有少部分的人，每天接觸非常多的人(如業務員等等)。

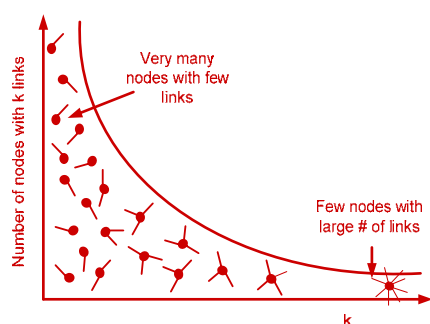


圖 9(a) 節點分支度成曲線分佈

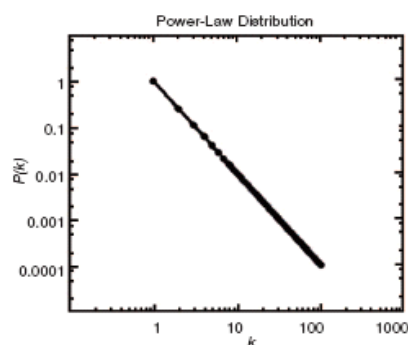


圖 9(b) 轉換後得到冪次律表示圖

2.3 日常生活接觸網絡

使用電腦模擬執行複雜網絡事件的動態模擬，首要的工作是建構一個精準的底層網絡。上面小節有舉出，從最早的隨機網絡、規則網絡、到小世界網絡與無尺度網絡模型。文明的進展，讓底層網絡越來越接近真實，這是因為，加入了越來越多的參數來調整網絡模型。然而，學術研究的領域是無止境的。前幾年，又有重要的研究，關於接觸網絡方面的重要改進，那就是二分關聯圖理論與社會分身點理論。我們將於接下來的兩小節，介紹這兩個理論。

2.3.1 二分關聯圖理論

在現實世界的系統中，有許多的複雜網絡具有二分關聯的特性。如網際網絡(Internet)、演員網絡、與接觸網絡等等。它與一般常看到的網絡(如人際關係網絡)最大的差異在於，網絡中的個體與個體並不是直接有關係，而是透過另一種個體，來達成其間的關係。因此，我們不能像以往的手段，使用直接收集(或問卷調查)個體間的關係來建構這種網絡。反而要透過收集個體與另一種個體之間的關係，然後用推導的方式，來得到目標網絡之個體間的關係資訊。

其實，二分關聯圖理論，很早以前就是圖學裡面的重要理論。然而，直到前幾年，才由 Guillaume 等人，用它來詳細的研究複雜網絡[27]。首先，先介紹二分關聯圖(網絡)理論：

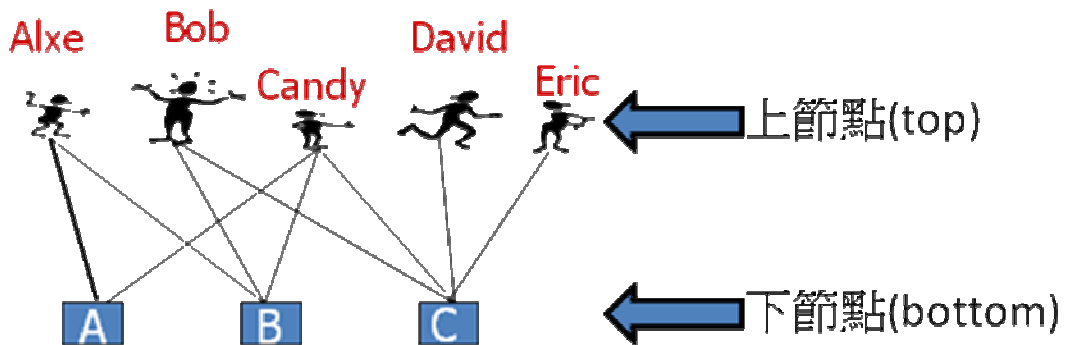


圖 10 二分關聯網絡

1. 如圖所示，圖形(網絡)中的個體，可以明確的區分為兩個群體，上(top)節點與下(bottom)節點。
2. 屬於同一群組的節點，不可以有邊相連接(也就是非直接有關係)。很清楚的定義，上節點不能直接連接上節點，下節點不可直接連接下節點。
3. 只有分別屬於兩個群組的節點，才能夠有邊相連接。也就是說，一個邊的兩個端點節點，其一屬於上節點，另一必屬於下節點。例如，區域網絡中的電腦關係，必須是電腦與 HUB 的關係，然後推導出，連接到相同 HUB 的兩個(或是多個)電腦之間有關係。例如，社會接觸網絡中，人與人的接觸，不可能憑空發生，必須透過場地來達成。如此，我們更可以合理的解釋，小世界網絡中所謂的長距離的捷徑，在人際關係網絡中，它可以由兩個生存在世界兩個角落的個體(人)來達成。而在接觸網絡中，則可以由某個個體(人)的遠距離移動來達成(當然，最後還是相聚在某個場所)。



另外，Guillaume 等人的研究中，最重要的並不是合理的描述複雜網絡的個體存在於二分關聯圖(網絡)裡面。而是，他們更提出一個轉換的法則，讓二分關聯網絡轉換成同質性的個體間的網絡(圖 11)。也就是，如原本是人與場所的關係，轉換成人與人的關係，然後就可以計算並驗證，複雜網絡的三種特性(群聚度、分隔度、與節點分支度之分佈)了。Guillaume 的研究結果如下：

1. 方法：轉換方法如圖所示，我們以個體 B 為例。個體 B 透過藍色的節點與個體 A 和 C 有關係，因此產生(A,B)與(B,C)兩個藍色的邊；另外，個體 B 透過紅色的節點與個體 C 和 D 有關係，因此產生(B,C)與(B,C)兩個紅色的邊。因此，我們可以得到兩個(B,C)邊，用來代表個體 B 與 C 之間的權重值應該更大。
2. 情形：Guillaume 等人將許多以前已經研究過的複雜網絡

(Internet/WWW/Actors/Co-auth)來實驗，等資料來做實驗。

3. 結果：轉換成一般的複雜網絡之後，計算複雜網絡的三種特性(群聚度、分隔度、與節點分支度之分佈)的值，與先前他人的研究結果相符合。因此，此種二分關聯圖理論，更能合理表現自然界存在的許多複雜網絡。

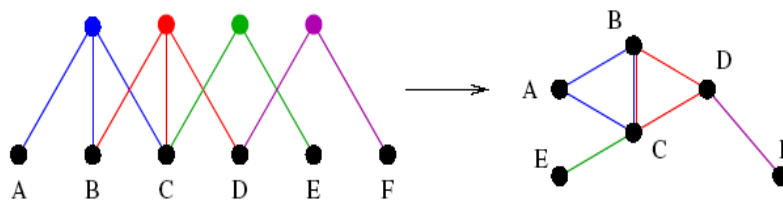


圖 11 二分關聯網絡轉換成一般網絡

資料來源：[27]

2.3.2 社會分身點理論



由上一小節的理論，我們找到本論文研究中的最重要工作—建構底層網絡的理論基礎。然而，我們卻發現，有許多的個體，他並非只有與一個場所所有關係。因此，他有許多的邊與不同的場所連接。當然，這些個體(人)，並非神仙，擁有孫悟空般的七十二變，可以化身多個分身，並同時存在於多個場所。因此，要解釋這種現象，我們引進 Hung 在 2005 年所提出來的社會分身點概念[12]。解說如下：

1. 概念：

- (1) 使用分身點的設定，用來代表一個人在一天的時間內固定拜訪多個地點（例如，家庭、公司、學校、與餐廳等）。
- (2) 結合二維晶格網絡，來建構出一個符合小世界性質的接觸網絡。

2. 模型：

- (1) 利用二維晶格，來表示底層網絡(場所)。
- (2) 每一個晶格都代表某個體的某個分身點。
- (3) 上層節點(分身)與下層節點(場所)採取隨機對應方式連接。
- (4) 使用晶格來代表個體固定出現在這些場所。
- (5) 每個個體的分身點數量為可以調整，並非統一。

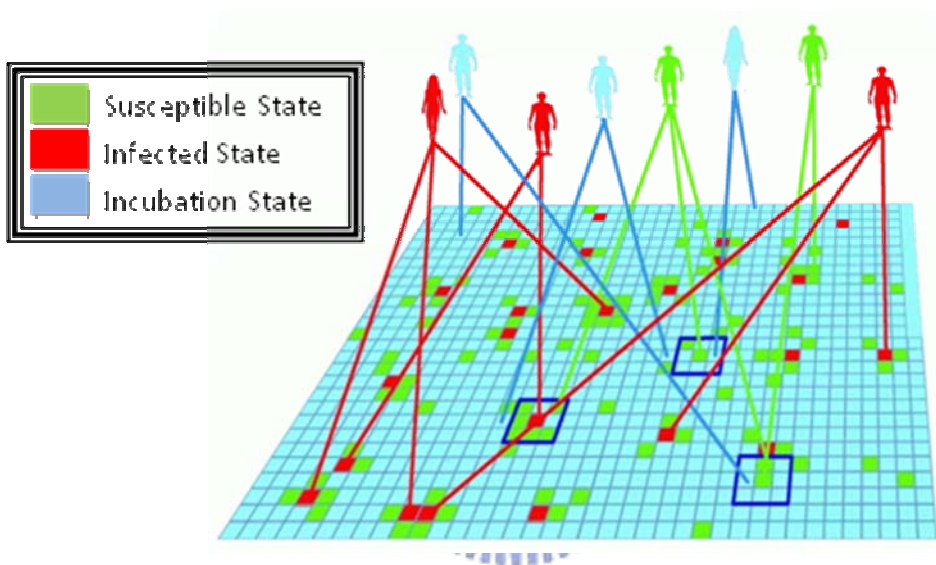


圖 12 社會分身點概念圖

資料來源：[12]

Hung 所提出的模型，優點主要是在於，它並不需要太多且複雜的統計資料 (例如，人口年齡結構、與家庭人口結構等)，就可以建構出一個具有現代都市特性的接觸網絡。不過，它有個重要的缺點，那就是無法明確得表達人類的聚集。而且，這個模型中，一個分身點只能跟他週遭另外八個分身點接觸，沒辦法表示出在某些場所中所造成的集體感染。

2.4 電腦模擬的簡介

使用電腦模擬做為病毒/疾病之動態研究，目前算是一種非常新穎的科學。第一個使用電腦模擬來研究複雜網絡(用在社會科學方面)的例子，開始於 1960 年代。但是，直到 1990 年代，拜電腦科技的普及與進步，這種方法才逐漸受到重視。我們將在接下來的幾個小節，來簡介電腦模擬的定義與用意[7]。

2.4.1 使用電腦模擬的時機

1. 為了觀察的便利：某些系統事件的過程發生得太快(如生物的細胞增長)，或是進行太慢(如生物遺傳的演化)，不方便也不容易觀察。因此使用電腦模擬技術，將系統的發展轉換成易於觀察的規模或速度上面，進行研究。
2. 為了做實驗：有些系統實驗，除了觀察不易，或觀察者涉入可能造成干擾之外，更常牽涉到法律或倫理道德問題，因此用模擬方法來替代之。
3. 為了訓練或遊戲：有一些系統，不適合進行實際的執行訓練(如商業投資，作戰演訓)，以避免危險或是成本過高。
4. 為了建立理論模型：電腦模擬模型，比敘述模型或數學模型被要求要更明確，有助於釐清理論模型中各個組成單元個別的意義、彼此之間的關係，以及其參數的設定。
5. 為了觀察系統動態：複雜網絡系統是一個具有內部回饋的系統，其動態具有不可預測性，個體、局部行為的互動可能產生出乎預料的集體模式，這些浮現現象值得觀察。
6. 為了建構人工世界：人類文明的發展，尚有許多科學無法解釋的現象與科技無法達成的目標，如太空移民等事項，這些事情因為沒有經驗，所以很難著手研究。然而，電腦模擬的出現，可以讓人類創建一個人工原形系統，探索其系統發展過程。

2.4.2 電腦模擬的應用

1. 用於了解：結婚對象選擇問題(將以前的人選擇對象的結果，建立一套決策系統[28])、公共衛生成效(在電腦模擬傳播動態時，將防疫策略參數加入，來做探討[12])。
2. 用於預測：羅馬俱樂部(成長的極限問題，探討環境的重要性以及資源與人口之間的基本關聯等等)。
3. 用於替代：專家系統、醫療診斷系統等等。使用電腦模擬專家(如產品工程師、醫生等等)，來協助找問題或是做決策。
4. 用於訓練：模擬飛行(例如模擬戰機的遊戲，或是空軍單位做為新進飛行員的訓練工作)、教學輔助系統(例如，介紹日常生活的簡單物品，讓小學生學習如何適應新環境等等)。
5. 用於娛樂：市面上有許多的電腦遊戲製作公司，製作如模擬城市、模擬人生、或模擬股市等等的遊戲，用來娛樂遊戲玩家。
6. 理論發現與正規化：賽局理論、SugarScape。

2.4.3 使用電腦模擬的優點

1. 成本低：上世紀九零年代的電腦革命，使得電腦軟硬體日益便宜而且容易取得，使得電腦模擬所需的成本與風險越來越低。
2. 門檻低：目前，各種高階的電腦程式語言相當容易使用，另外也有許多的研究單位開發模擬軟體，使得電腦模擬的門檻降低。
3. 方便實驗：可以在模擬環境中控制實驗，而且進行無干擾的觀察，尤其對於那些人命關天，無法用真實資源來做的實驗(如新型流感傳播動態之電腦模擬系統)。
4. 電腦系統可以同時處理大量的變數，直接去模擬一套完整的系統，而非

如以往的模型常在简化一套系统。

5. 電腦模擬可以放寬以往模型所需的假設與限制，例如，無限大或足夠大的母體、性質的連續性、具同質性的單位個體等。它也能夠處理平行發生的過程、高度非線性關係，以及異質性的角色。
6. 電腦模擬可以觀察到系統的動態與浮現的性質，而非只有某些靜態的平衡點與結果。

2.5 傳播模型介紹

模擬實驗的研究中，除了底層網絡的建構之外，最重要的就是傳播模型的選擇與使用了。傳播模型最主要是用來定義描述系統中個體的狀態與狀態轉變的規則，以此來呈現系統之動態節果。以下我們將介紹本研究所使用到的傳播模型，SIR 與 SIS。



2.5.1 SIR 傳播模型介紹

SIR 模型是經典也是最基本的傳播模型，並且已廣為使用在許多種的病毒/疾病傳播研究。1927 年，Kermack 和 McKendrick 等人，提出 SIR 模型[29]，並將系統的個體定義成三種狀態，並利用一組微分方程式來推導各種狀態之個體的變化，來得到系統之動態。基本狀態定義如下：

1. 易受感染 (S, Susceptible)：代表個體容易受到感染，但是尚未感染。數量以 $S(t)$ 表示，代表 t 時刻尚未受到感染的人數。
2. 已感染 (I, Infected)：代表個體已經受到感染，同時也會傳染給其他人。數量以 $I(t)$ 表示，代表 t 時刻已受到感染的人數。
3. 已移除 (R, Removed)：代表康復或死亡表示有免疫能力不受感染。數量以 $R(t)$ 表示，代表 t 時刻已從感染者移出的人數。

基本狀態變化規則定義如下：

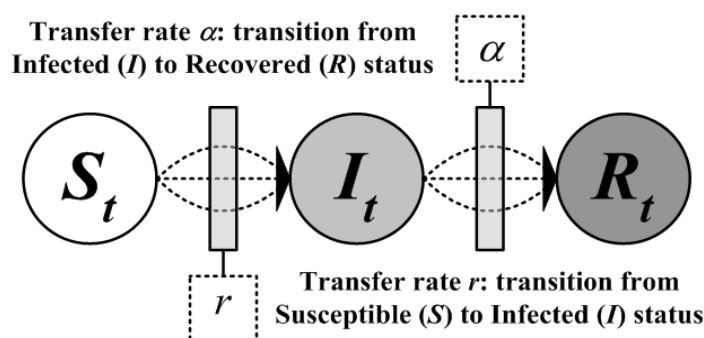


圖 13 (a) Compartmental SIR Model

資料來源：[29]

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -rS(t)I(t) \\ \frac{dI}{dt} = rS(t)I(t) - \delta I(t) \\ \frac{dR}{dt} = \delta I(t) \\ N = S(t) + I(t) + R(t) \end{cases}$$

r is the infection rate, δ is the removal rate, and N is population size

圖 13 (b) 狀態轉換公式

資料來源：[29]

這個經典的模型，雖然是非常重要且基本的，但是它並不符合現實社會現象。原因如下：

1. 個體接觸率相同：這個模型定義系統中的所有個體，兩兩間的接觸機率相同。然而，在現實社會中，個體與個體之間的相遇情況，非常可能是變化萬千，不能一概而論之。
2. SIR Model 只能對疾病的傳播得到疾病的再製率 (R_0)，無法了解疾病

的動態傳播。主要是，因為它缺乏社會接觸網絡的觀念。

2.5.2 SIS 傳播模型介紹

SIS 模型是 SIR 模型的變形。主要的差別在於，SIS 模型的使用，沒有所謂的已移除狀態。也就是說，此模型適用於不具免疫力的疾病。因此，個體在被感染後，可能待在已感染狀態幾天(恢復期)，然後再回到易感染狀態。

2.6 防疫策略簡介

近年來，使用電腦模擬的方法，來做病毒/疾病的動態傳播研究中，很普遍的都會加入防疫策略(或是公共衛生政策)的探討，以便獲得更大的效果。以下，我們將對三種使用在複雜網絡的基本的防疫策略，做些簡介，列於接下來的三個小節。



2.6.1 隨機免疫

隨機免疫的方法是由[30]所提出來的。它的最主要理念在於，完全使用隨機的方式，來選取網絡中的某些(可調整數量)節點，進行免疫(保證它不受感染)。它的優點在於，無須花費大量的資源在於尋找想要免疫的對象。但是它的缺點在於，使用隨機免疫的方法於有些網絡(如，無尺度網絡)時，必須幾乎對所有節點進行免疫，才能保證病毒/疾病的傳染被消滅。

2.6.2 目標免疫

目標免疫的方法是由[31]所提出來的。它的最主要理念在於，有目標的選取某些(可以調整數量)節點(如，節點分支度較大的)，進行防護。它的優點在於，只要選取少量的具有分支度大的節點，進行免疫，將可減緩病毒/疾病的傳播速

度，甚至將其消滅。但是，這種方法需要無須花費大量的資源，在於尋找想要免疫的對象。

2.6.3 熟人免疫

熟人免疫的方法是由[32]所提出來的。它的最主要理念在於，隨機選取某些(可以調整數量)節點，然後每個被選取的節點再隨機的選取一個相鄰的節點，當作免疫的對象。由於分支度大的節點有很多鄰居(相鄰的節點)，因此，它被選取的機率就比較高。它的優點在於，不需要花費大量的資源，來調查網絡中每個個體的分支度，就有機會接近目標免疫的效果。



三、模型架構與設計

本研究的實驗，主要分為四個部分，底層網絡的建立、傳播模型的使用、防疫策略的應用、與電腦模擬系統的開發。我們將在接下來的幾個小節，詳細的解說各部份的組成與相關設定。另外，模擬實驗的意義在於，創建一個可控制的擬真系統，以期達到低成本卻廣效益的結果。因此，我們必須要先做一些合理的假設與設定，讓系統能收斂而不至於無限發散。

3.1 模型架構

本實驗的模型設計，設定在某一固定的區域範圍內。由於目前尚無藍牙病毒的相關研究，基於複雜網絡(社會網絡)，因此，本研究的主要目的在於，將複雜網絡理論使用在智慧型手機藍牙病毒的底層網絡之建構，然後實驗病毒傳播的動態結果，提供給相關單位或是其它研究參考。首先，我們必須對實驗模型之無法取得或是無明確定義的參數，設定一些限制與假設，以符合真實的現象：

1. 系統(網絡)的個體(節點)數目固定

現實世界中，區域中的人口數目不會突然或是平白的增加或是減少。人口數目的變動，將很有可能對網絡結構造成重大的影響。如平均分隔度可能因為某些擁有超級長距離路徑的個體(節點)的出現或是消失，有明顯的變動。

2. 系統(網絡)中的個體(節點)的分身點數目固定

實驗進行中，個體的分身點數目固定不變。由於我們的實驗是建構在日常生活接觸網絡之上，所謂日常生活的意義在於，規律與穩定。因為個人的行為在日常生活中，變動不大。行為的改變，必須經過一段時間的調整與適應。也就是說，日常生活中，個體所經過的場所數目，幾乎不

會有變動，因此我們將它設定為固定。

3. 系統(網絡)中的個體(節點)的分身點數目有限

現實社會中，每個人每天擁有的時間是固定的、相同的二十四個小時。

因此，一天當中能夠拜訪的場地數目也有限制，不可能多到無限大。

4. 個體分身點分為固定與隨機兩種[12]

現實世界裡，個體在每天的行程，有固定拜訪的場所(如學生對於學校，上班族之於公司等等)，也有隨機選取的場所(如吃飯有許多餐廳可選，逛街有不同的商品需求)。

5. 個體分身點數目採用無尺度分佈

真實世界裡，一般的個體所擁有的分身點數目不多，但是卻有少數的個體擁有很多的分身點(如超級業務員，可說是無時無刻不在移動)。

6. 場所選擇採用優先連結

真實世界裡，一般人會選擇熱鬧或是有名的場所做為下一個拜訪的目標，如逛街會去百貨公司人擠人，如吃飯會去需要排隊的名店(一般認為這種餐廳的食物一定好吃，才會讓人慕名而來，才会有許多人排隊等候)。因此，我們使用優先連結的規則在場所的選擇上面。

7. 手機藍牙功能隨時開啟

一般的智慧型手機使用者，並不會(了解)藍牙功能的開啟與關閉，或是也是懶得開開關關。因此，通常智慧型手機的藍牙功能會保持在出廠的設定，也就是開啟的狀態。

3.2 實驗模型設計

本實驗的模型設計，將分為底層(日常生活接觸)網絡的建立、中層病毒/疾病的傳播模型的配合、與上層防疫策略的探討。三個層面。

3.2.1 底層(日常生活接觸)網絡的建立

智慧型手機的藍牙病毒，其傳染之途徑在於，兩個手機個體的使用者有短距離的接觸。也就是說，底層網絡的關係，完全是由人類(使用者)個體接觸所構成的接觸網絡，與智慧型手機卻是一點關係也沒有。所以，要能夠精準的建構它，其實是要對人類的接觸行為有所了解。

3.2.1.1 二分關聯網絡

接觸網絡，顧名思義是由個體與個體間的接處關係，所形成的網絡。然而，人與人的接觸關係，必需要考慮兩個重要因素，那就是場地與接觸之距離。接觸的發生在短距離，至於這個距離有多短，就必須因個體的特性而有所不同。因此，我們可以很容易了解，本研究所設定的短距離的定義在於，藍牙設備的訊號所及的範圍，這是很容易理解的。另外，場地是人與人接觸的發生的媒介。人與人的短距離接觸，不可能憑空發生，其關係更不可能是無遠弗屆的。因此，我們可以很明確了解，接觸網絡必須是由人與場地的關係所形成的。如圖(14)所示，我們可以很清楚的了解，人與人之關係，並且預測病毒的傳播動態。例如，Alex 與 Bob 可能同時出現在某一場所 B，那麼他們就很有機會能夠接觸。因此，以流行疾病傳播的問題為例，假若 Alex 是已感染者，那麼他就很有可能把疾病傳染給 Bob。不過，Alex 與 David 卻是沒有直接關係，因此，David 不會經由 Alex 而傳染到流行病。但是，Bob 與 David 卻是有關係(有機會在場地 C 接觸)，因此，當 Bob 經由 Alex 而感染疾病之後，David 也有機會受到感染(經由 Bob)，這就是傳播動態。

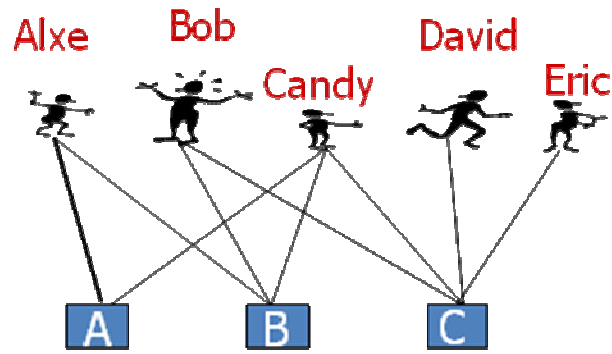


圖 14 二分關聯網絡

另外，對於二分關聯圖的使用，我們需要設定一些參數，如下：

1. 個體之分身點個數

- (1) 固定分身點：個體每天固定要拜訪的場所數目。例如，一般學生，每天都會存在於家庭、與學校等等。這種情況，他就擁有兩個固定分身點。例如，上班族每天都會存在於家庭、公司、與餐廳，那麼它就有三個固定分身點。
- (2) 隨機分身點：每個個體每天可以拜訪(隨機選取)場所的數目。也就是說，場所的選擇並非固定一成不便。例如，學生下課後可以選擇逛街、圖書館等等；上班族下班後可以去看電影、餐廳吃飯、或是逛百貨等等；特別一提，例如超級業務員，它可能整天東跑西跑，接觸非常多的場所。因此，此類的人將會擁有很多的隨機分身點。

表格 2 原始 2007 年行政院의 靜態人口調查報告

年齡層	固定式 社會分身點	隨機式 社會分身點	佔總人口的比例	
			男	女
0~4 歲	1~2 均勻分佈	0	0.022	0.02
5~9 歲	1~2 均勻分佈	0~2 均勻分佈	0.028	0.026
10~14 歲	1~3 常態分佈	0~5 常態分佈	0.034	0.031
15~19 歲	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.032	0.03
20~24 歲	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.033	0.032
壯年(25~65 歲)	1~3 常態分佈	0~100 無尺度分佈	0.279	0.314
老年人(65 歲以上)	1~3 常態分佈	0~3 常態分佈	0.058	0.061

資料來源：[33]

- (1) 0~4 歲：代表嬰幼兒，大部分只會出現在家中或保母家。所以，在設定固定分身點時，讓它隨機分佈在 1—2 之間。在隨機分身點的設定上，這個年齡層的人無太多的活動力，所以將它設為 0。
- (2) 5~9 歲：表示在幼稚園或小學階段。這個年齡層的人，固定會去的場所（例如，家、幼稚園、與學校）。另外，假日可能隨父母去一些熱門場所出遊，所以將隨機分身點設為 0—2 的均勻分佈。
- (3) 10~14 歲：表示約在國中階段。這個年齡層的人已經有屬於自己的社交圈，除了固定會去的場所（例如，家、學校、與補習班等），還會與同學或朋友一起出遊，但是活動能力不會太強，所以將其隨機分身點的設定在一個較小的範圍以內。
- (4) 15~19 歲與 20~24 歲：表示約在高中與大學階段。這兩個年齡層的人，固定會去的場所（例如，家、學校、與補習班等）。因為每一個人時間有限，所以在隨機分身點的選取上有一個上限。

- (5) 壯年(25~65歲)：表示已經出社會。固定會去的場所不多(例如，家與工作場所等)。隨機分身點個數的選擇，比其他年齡層還要多，是為了表示某些人因工作性質的不同(例如，業務或直銷人員等)，一天之內可能會接觸很多客戶。但是一天只有24小時，所以隨機分身點也有個上限。隨機分身點設定了下限，是為了表達社會上的一些特例(例如，家庭主婦等)，可能只會出現在大賣場或菜市場，所以他們的隨機分身點的數量，採取冪次律(power-law)的分佈。
- (6) 老年人(65歲以上)：可能因為年紀較大，活動範圍比較小，在隨機分身點的範圍設定會比較小。另外，由於社會上有一些獨居老人的存在，所以，在我們的設定上會出現一些只有一個固定分身點的老年人。

另外，我們的實驗設計，必須將統計結果再做篩選。由於國內的情形，一般十四歲(含)以下的群組，擁有手機的比率不高(嬰幼兒不需要手機，小學生目前也沒有趨勢)。而且，女男平等的今日，族群不需要再有性別的區分。因此，我們將資料調整並做正規化之後，得到下圖的資料，是實驗輸入的最基本參數。

表格3 修改2007年行政院의靜態人口調查報告

年齡層	固定式 社會分身點	隨機式 社會分身點	佔總人口的比例	
			原始	正規劃
15~19歲	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.062	0.074
20~24歲	1~3 常態分佈	0~50 無尺度分佈	0.065	0.077
壯年(25~65歲)	1~3 常態分佈	0~100 無尺度分佈	0.593	0.706
老年人(65歲以上)	1~3 常態分佈	0~3 常態分佈	0.119	0.143

資料來源：[33]

2. 場所類型與數目設定

現實世界中，場所的容量大者，數目較少；而有大量的場所，其容量很小。例如，百貨公司可以同時容納數千人，它在一個區域單位內的數量很少，大概三或四個左右。同樣的，大型的公司也是如此。反觀，小型的場所，如家庭(一般三到五人左右)的數目，就是非常的多了。

3. 場地容納人數(隨機、常態、均勻、無尺度)

場所容納人數的規則，一般可以使用常態、均勻、與無尺度分佈。介紹如下：

- (1) 隨機：個體之數值採取隨機選取，只要其值落在限定範圍之內都可。也就是說，場的容納人數，無規則限制，一切但憑天意。
- (2) 常態分佈：數值的分佈，呈現如一口鐘的型態。絕大多數的個體擁有平均值得數值，離平均值越遠的個體數目越少。
- (3) 均勻分布：每種數值所屬於(擁有)的個體數目相同。也就是說，每個場地將平均分配系統(網絡)中的所有個體(節點)。
- (4) 無尺度分佈：大部分的個體擁有小數值，很少的個體，擁有很大的數值，而且，分布情況呈現指數曲線的改變。也就是說，大部分的場地容納人數很少，但是，有少數的場地，容納了很多的人數。
- (5) 現實社會中，場地吸引個體的規則，因分身點的型態而不同。
- (6) 固定分身點：每個固定分身點的個體選擇場所時，不會(需要)考慮場所的吸引力，而是固定的選擇。例如，家庭、學校、與公司等等，已經是固定的選擇，沒有機會改變。因此，對於固定分身點的選擇場所，我們將使用隨機亂數選取。
- (7) 隨機分身點：每個隨機分身點選擇場所時，都會有一個標準規則，我們在前面已經有詳細的解說了，它始採用無尺度分佈。也就是

說，場地的吸引力將會因隨機分身點數目的大幅增加，如此，隨機分身點選擇場所時，將會優先被這種場所吸引，也就是我們前面所作的前提假設，場所優先連結。

- (8) 不重複選取：不管固定或是隨機分身點，在選取場所時，不會選取已經選過的場所了。這是很值觀合理的設定。

另外，本實驗的人口與場地數目，均是可以調整，以配合實驗區域的大小不同。基本上，參數的設定，與國家、民族、城鄉、與文化等等有很大的差異性，其原因為：

1. 上下層節點數不同，較大的城市具有較多的市民（上層節點），也具有較多的場所（下層節點）。
2. 社會分身點與場所可容納人數的冪次律曲線的斜率不同。較大的城市因為交通運輸便利，可在短時間內往返多個地點，所以斜率較高。也因為人口眾多，容易出現可容納非常多人的大型場所(例如，百貨公司與電影院等)。
3. 每個人的隨機式社會分身點的數目較多。由於小城鎮的居民作息較規律，大多數的社會分身點都傾向是固定式。而大城市的居民娛樂生活較多選擇，所以具有較多的隨機式社會分身點。

3.2.1.2 日常生活接觸網絡之定義

日常生活接觸關係與人際關係最大的差異在於，人際關係的變動率較低，而且關係的集合是呈現不斷的增長現象。人類個體在日常生活中的接觸，以頻率來說，通常包含頻繁、普通、與偶然。頻繁接觸的例如，家庭成員、部門同事、與同班同學等等。普通接觸例如，鄰居、公司同事、與同校同學等等。偶然接觸例如，餐廳鄰座的饕客、同場音樂會的愛樂族、與通勤中擦肩而過的陌生人等等。

所以，此類的關係有一部分是大量變動性質，而且增減不一。因此，日常生活接觸網絡，就是由這些關係所構成的。

另外，藍牙類型病毒的傳播，其途徑是手機個體的藍牙設備的無線通訊。而且，整個感染過程是一個完全隨機的事件發生，也就是說，只要待在同一個場所內，所有的個體(手機)都會發生(接觸)關係(都有機會受到感染)。所以，我們所建立的二分關聯網絡中，每個場所內的接觸都將視為完全接觸網絡，等同一個完全圖。例如，在同一個辦公室內，藍牙訊號通常可以涵蓋所有的手機個體。就算是無法完全覆蓋，在人的走動當中來調節，結果也可以算是。所以，整個日常生活接觸網絡的建構，是由許許多多的物件所組成的，而物件與物件之間的關係，就是由人來達成。

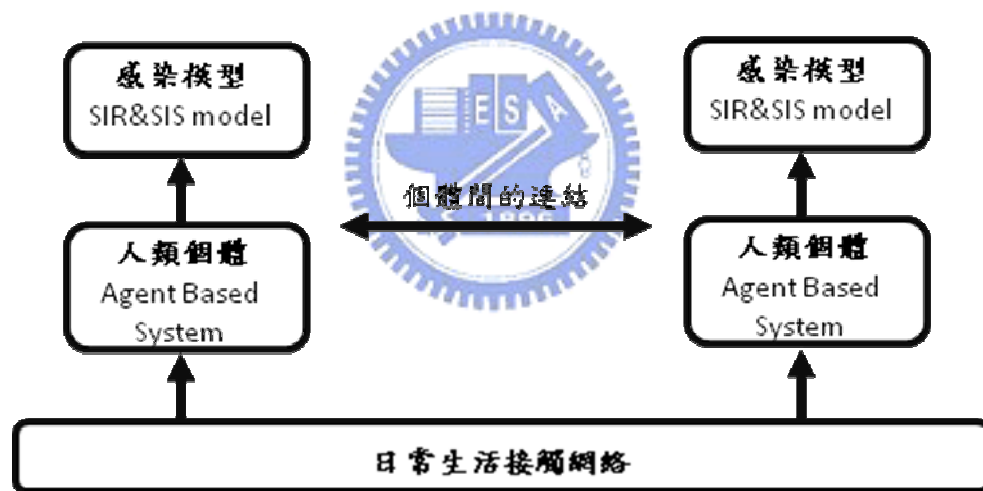


圖 15 系統模型架構圖

3.2.1.3 日常生活接觸網絡之建構

日常生活接觸網絡的建構，主要包含三個步驟，建立人與場所關聯的二分關聯網絡、轉換二分關聯網絡成為一般的(日常生活接觸)接觸網絡、與個體之間的關係的強度調整，也就是網絡中的節點間的邊，必須設定一權重來描述此關係。本研究中，個體之間的關係強度，取決於他們兩者的接觸時間，並且成正比關係。

在此，權重的設定值有其範圍，最大與最小值表示兩個體最長與最短可能的接觸時間。通常，权重被設定成一個平均值，或接近平均值的一個常態分佈隨機亂數。本實驗中，我們採取平均值的計算方式。

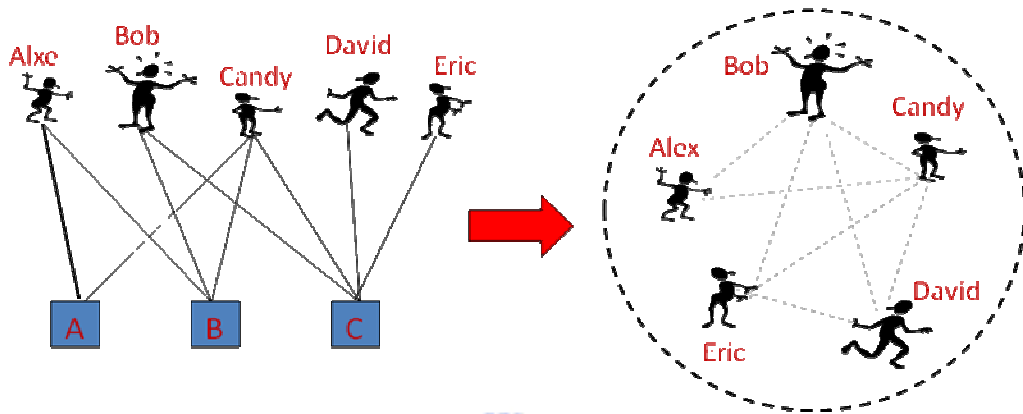


圖 16 將二分關聯網絡轉換成日常生活接觸網絡。

兩個個體間的關係权重計算公式：

- tA_n : 表示個體 n 在場所 A 所待的時間
- tA_{12} : 表示個體 1 與個體 2 在場所 A 所待的時間之交集
- wA_{12} : $tA_{12} \div 24$ (每天只有 24 小時)
- W_{12} : $wA_{12} + wB_{12} + \dots$ (每個場所之权重加總等於總权重) (1)

我們使用一個例子解說(圖 16)。現實中，每個人一天的時間都是 24 小時。對於 Alex 而言，他的分身點將出現在場所 A 和場所 B 中；對於 Bob 而言，他的分身點將出現在場所 B 和場所 C 中。另外，本實驗的設定為，個體待在場所的時間是平均的。因此，推得 Alex 出現在場所 A 的時間為 12 小時、出現在場所 B 的時間為 12 小時；而 Bob 出現在場所 B 的時間為 12 小時、出現在場所 C 的時間為 12 小時。如下圖(圖 17 與圖 18)所示：

時間交集的上限

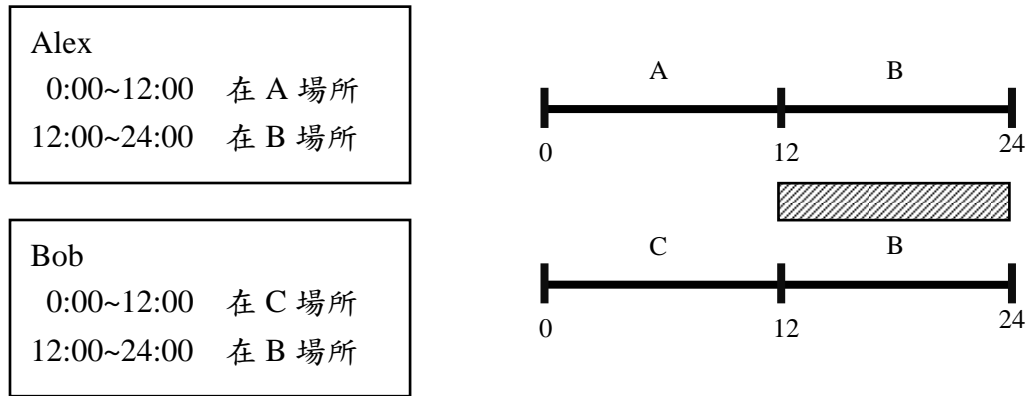


圖 17 時間交集的上限範例圖

時間交集的下限

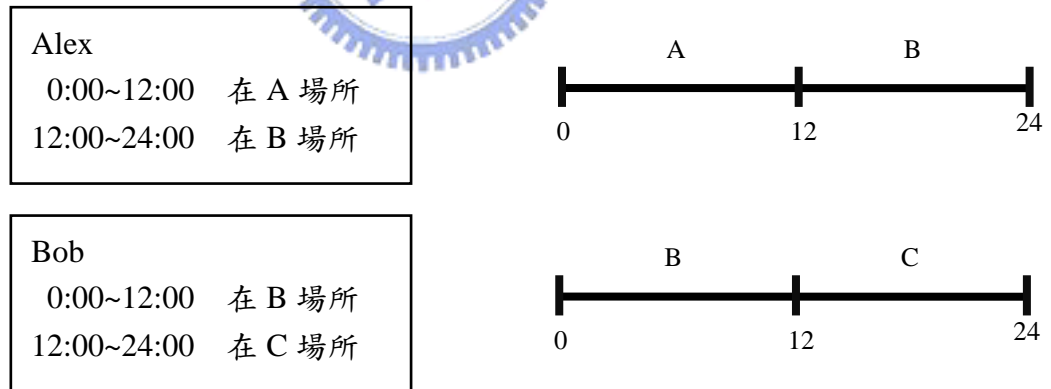


圖 18 時間交集的下限範例圖

以上的範例，我們採用真實的時間設定來說明公式。然而，我們可以使用個體分身點的交集數目來當作個體間的時間交集，如此來更簡化的計算每個個體之間的權重計算。如下圖所示，最後的權重等於(個體分身點的交集數目除以(兩個個體之分身點數的相乘積))。權重公式如下：

- M_n : 表示個體 n 的分身點數目
- M_{12} : 表示個體 1 和個體 2 的分身點交集數目
- W_{12} : $M_{12} \div (M_1 \cdot M_2)$ ，表示個體 1 和個體 2 之間的權重 (2)

3.2.2 病毒/疾病傳播模型的使用

電腦模擬系統的開發，第二個步驟就是病毒/疾病傳播模型的使用。有別於人類疾病的模型，手機(電腦)病毒的傳播狀態相對簡單明確的多，如下所示：

1. 沒有潛伏期：如同電腦世界的特性，凡事只有零與一、真或假，不允許模糊地帶的存在。手機(電腦)病毒的感染，一般只有[未感染(可感染)]與[已感染]。已感染的個體，立即就展現已感染的特性，並且有傳播病毒的能力，無所謂的潛伏期。也因此，人類的流行性疾病，或許可以在潛伏期之後，回復到健康狀態。但是手機(電腦病毒)的感染世界裡，就沒有這種機會了。
2. 統一免疫力(抵抗能力)：人類社會中，個體對於疾病的抵抗能力，會因為年齡或是性別而有所不同。然而在手機的世界中，每個個體都是相同的，不會因為使用者的族群歸屬而有所不同(很有趣的現象就是，底層網絡的建立，屬於人類的接觸相關，無關手機；但是上層的傳播模型使用，卻是手機相關，無關人類使用者了)。
3. 沒有復原期(感染期)：人類的流行疾病之感染，一般在已感染的狀態持續個幾天之後，將有機會回復到健康狀態(易受感染)。然而，如同剛剛的解釋，手機(電腦)病毒的傳染世界沒有這麼複雜。一般的情況下，手機感染手機(電腦)病毒之後，就沒有重回健康(易受感染)的機會了!
4. 可感染其它個體的個數：病毒的傳染能力，並不會隨著接觸個體數目的增加而有所改變。也就是說，只要時間許可，可感染的個體數目沒

有上限。

5. 無重複感染問題：人類的流行疾病的感染世界裡，重複感染的結果可能與第一次感染有所不同。例如，回復健康之後的再次感染，可能感染期會變短等等現象。但是，如同上面的解說，手機一旦感染了手機(電腦)病毒，就算再感染 n 次，也是一樣的結果。或是，手機(因某種原因)回復到健康(易受感染)狀態之後，再次感染了手機(電腦)病毒，結果也不會比較好。因此，無須擔心也沒甚麼好放心的了。

3.2.2.1 病毒/疾病傳播模型

本研究的實驗，我們將採用 SIR 與 SIS 兩種模型組合，內容如下：

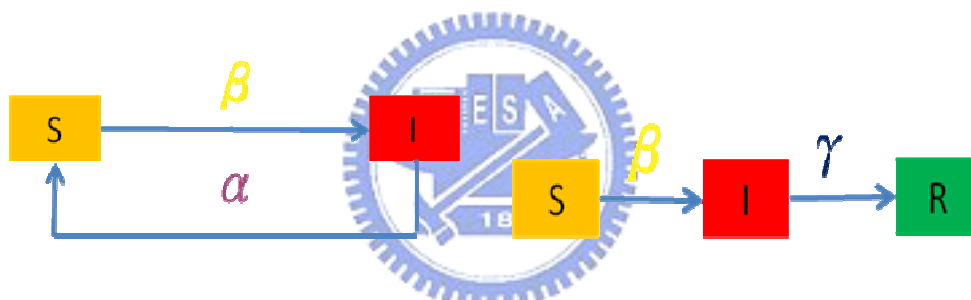


圖 19 SIS 與 SIR 傳播模型示意圖

1. $S \rightarrow I$ ：易受感染個體，一但遇到了已感染個體，基本上就只有被感染的下場了。我們另外設定了傳染率參數 β ，做為防疫能力的實驗。
2. $I \rightarrow R$ ：一般來說，手機(電腦)病毒的感染世界裡，是沒有復原的機會的。然而，我們必須要考慮，有些個體的使用者，會自行安裝防毒軟體，或是給解毒單位處理，這個手機個體就有可能解除感染狀態，甚至受到保護或是防疫。它的狀態就會變成已移除。我們另外設定了移除率 γ ，做為防疫策略的實驗用參數。
3. $I \rightarrow S$ ：同上所述，手機(電腦)病毒的感染世界裡，是沒有復原的機會的。然而，我們也提供系統的個體有恢復的可能性設定。也就是說，萬一

個體(作業)系統重新設定，可以回復初始狀態(一般電子產品都有重置功能，讓它能夠回復到出廠時的設定)，它也等能於回復健康了。我們另外設定了復原率 α ，做為實驗性質的使用參數。

4. 對於相同的手機(電腦)病毒，一旦手機擁有防疫能力(進入已移除狀態)，就不可能會再次受到病毒的威脅(不會回到易受感染的狀態)，這點與人類的流行疾病不同。

3.2.2.2 本實驗的傳播模型與狀態

結合 SIS 與 SIR 所成的模型，我們定義本系統的個體狀態如下：

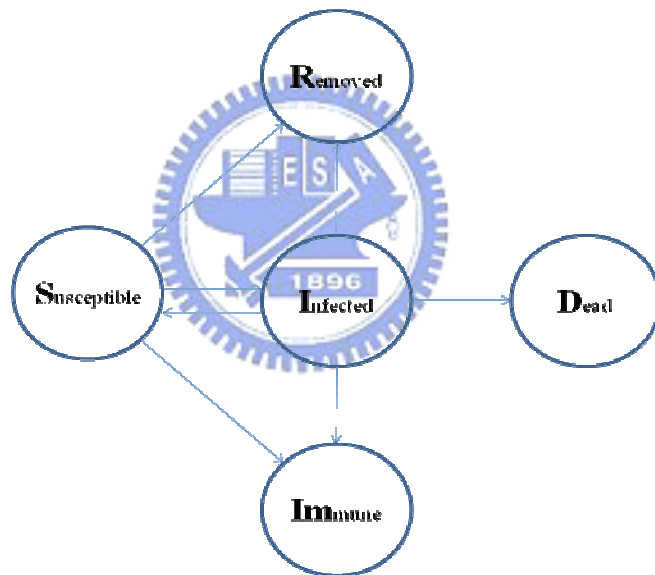


圖 20 系統個體狀態轉換圖

1. Immune(已防疫)狀態定義：當我們使用本實驗的新型防疫策略時，此狀態才會被使用到。凡是進入這個狀態的個體，都將自動散播疫苗。因此，只要是遇到擁有相同的防毒軟體的個體，該個體就可以接受此疫苗，因而得到防疫。

3.2.3 防疫策略的使用

防疫策略的使用與探討，是本研究的另一個目標。我們將把先執行無防疫策略下，手機病毒(藍牙類型)的傳播動態呈現與研究，然後再進行兩種基本防疫策略的干擾下，傳播之動態結果；最後，我們更提出兩種新型的策略，使用在本類型的病毒下的結果。

1. 基本防疫策略：我們選用兩種作為探討。

- (1) 隨機免疫：顧名思義，我們將從所有的健康個體(手機)中，選取數個(比率可以調整)來進行免疫。
- (2) 目標免疫：此種免疫的方法是，找出每個個體(手機)的節點分支度排序，然後選取那些擁有最大節點分支度的個體(比率可以設定)，進行免疫。

2. 新型免疫策略：我們設計兩種作為探討。

- (1) 目標免疫(場所)：目標免疫的變型。把場所依照容納個體數來排序，然後針對容納個體數大的場所來進行防疫(所有存在於該場所的個體都將受到防疫效果)。
- (2) 疫苗主動擴散策略：傳統的免疫與我們剛剛所提到的目標免疫變型，最主要的缺點就是，必須花費一定的資源來做節點分支度的調查。我們這種方法，就完全沒有這種問題了。如同隨機免疫，只要隨便選取數個(數量可以調整)個體(不管健康與否)，進行免疫。然後，讓免疫的疫苗，可以如同手機病毒一樣傳播開來，就可以達到整個系統的免疫了。當然，這種方法有一些限制，例如，傳播的速度要夠快(未來目標，可以用很多種途徑來傳播)，這樣才有效果，不然，若需要十天半個月，甚至一年，那就失去時效性了。相關的限制，我們將在下一章討論。

3.3 實驗模型製作

上述資訊，詳細地介紹了本實驗的模型架構與模組分析，接下來我們在本節描述模型的製作。模型的實做結果也就是所謂的電腦模擬系統，本節主要詳述系統參數的設定與系統執行之流程說明。

3.3.1 系統相關參數設定

同樣分為底層(日常生活接觸)網絡、傳播模型、與防疫策略三方面。

3.3.1.1 底層(日常生活接觸)網絡相關參數設定

底層的日常生活接觸網絡的建構，最主要包含個體(人)與場所相關的資訊設定，例如，年齡、分身點數目、場地容納數目等等。詳細資訊如下圖所示：



表格 4 底層網絡相關參數設定

屬性名稱	資料型態	說明
人口數	整數	系統的個體總數
場地數	整數	個體分身點的個數
個體編號	整數	0~(人口數減 1)
場地編號	整數	0~(場地數減 1)
個體年齡	整數	0 代表 14~19 歲族群 1 代表 20~24 歲族群 2 代表 25~65 歲族群 3 代表 66 歲以上族群
個體固定分身點數	整數	參考調查表的數值
個體隨機分身點數	整數	參考調查表的數值
個體總分身點數	整數	個體固定與隨機分身點數之總和
場地容納人數	整數	該場地容納人數之資料
個體與場地對應	整數陣列	1~個體總分身點數
場地與個體對應	整數陣列	1~場地容納人數
個體接觸對應	整數陣列	1~? 二分關聯網絡轉換成日常生活接觸網絡資訊

3.3.1.2 傳播模型相關參數設定

本實驗使用 SIR 與 SIS 作為系統的傳播模型，因此，有些相關的參數(如，感染率，復原率等等)必須設定，如下所示(記得，已移除就不會回到易感染狀態了)：

表格 5 傳播模型相關參數設定

參數名稱	資料型態	說明	設定值
感染率	浮點數	病毒傳染的能力	0.1 ~ 1.0
復原率	浮點數	已感染個體每天恢復成易感染狀態的機率	0.0 ~ 1.0
損壞率	浮點數	已感染個體每天轉變成已損壞狀態的機率	0.0 ~ 1.0
初始感染數	整數	該次模擬之最初設定	1 ~ 人口總數
模擬天數	整數	該次模擬實施的天數	1 ~
易感染數	整數	系統該時間點的易感染個體總數	0 ~ 人口總數
已感染數	整數	系統該時間點的已感染個體總數	0 ~ 人口總數
已免疫數	整數	系統該時間點的已免疫個體總數	0 ~ 人口總數
已損壞數	整數	系統該時間點的已損壞個體總數	0 ~ 人口總數
第幾天	整數	該次模擬進行天數	0 ~ 模擬天數
個體當前狀態	整數陣列	1 代表易感染狀態 2 代表已感染狀態 3 代表已免疫狀態， 但可以傳播疫苗 4 代表已損壞狀態 5 代表已移除狀態	
個體下個狀態	整數陣列	0 代表狀態不變 1 代表易感染狀態 2 代表已感染狀態 3 代表已免疫狀態， 但可以傳播疫苗 4 代表已損壞狀態 5 代表已移除狀態	
個體間接觸權重	浮點數陣列	該個體與所有已感染狀態個體接觸之權重總和	0.0 ~
個體被感染率	浮點數陣列	由個體間接觸權重做計算來得到此數值	0.0 ~

3.3.1.3 傳染率計算

手機(電腦)病毒的傳染，與人類之流行疾病的感染迥異。在傳染率的計算方面，手機(電腦)病毒，只要健康的個體(手機)與已受感染的個體有關係，本實驗中指的是有藍牙設備的連接接觸，那麼它就基本上構成感染了。如前面所敘述，電子的世界，只有零與一。然而，我們也仿照人類的流行疾病的傳染方式，設定傳染率，預做保留，讓系統將來有機會加入此類相關的設定值。本系統的病毒傳染率計算公式如下：

$$I_A = 1 - \prod_{I=1}^N (1 - \beta \cdot W_{A,I})$$

- β : 病毒的傳染率。
- N : 與個體 A 有接觸關係，而且具有傳染能力(已感染)的個體數。
- I_A : 個體 A 的被傳染率。
- $W_{A,I}$: 表示個體 A 與有關聯的其他個體的權重。 (3)

我們用下面的例子說明。我們假設 Bob 和 Candy 是已感染者，擁有感染能力，然後來計算 Alex 的被感染機率。

$$I_{Alex} = 1 - (1 - \beta \cdot W_{Alex,Bob}) \times (1 - \beta \cdot W_{Alex,Candy}) \quad (4)$$

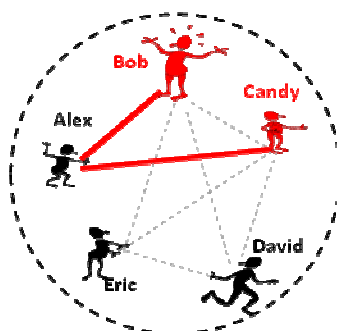


圖 21 日常生活接觸網絡

3.3.1.4 防疫策略相關參數設定

表格 6 防疫策略相關參數設定

參數名稱	資料型態	說明	設定值
防疫策略	整數	0 代表沒有施行防疫策略 1 代表隨機免疫 2 代表選取節點分支度較大的進行免疫 3 代表選取容納人數較多的場地進行免疫 4 代表本論文新提出的策略	0 ~ 4
防疫比率	浮點數	欲選取的防疫比率	10% ~ 100%
防疫策略使用時機	整數	第幾天開始執行防疫策略	2 [34]
防疫個體數	整數	防疫比率與人口數相乘之積	
防疫場地數	整數	防疫比率與場地數相乘之積	

3.3.2 系統的執行流程說明

根據前面幾個小節的理論與邏輯資訊，我們可以很順利的將電腦模擬系統的開發工作完成。接下來，我們將說明本系統的執行方式，主要還是分為”日常生活接觸網絡建立”與”手機病毒(藍牙類型)的傳播動態實驗”兩個部分。

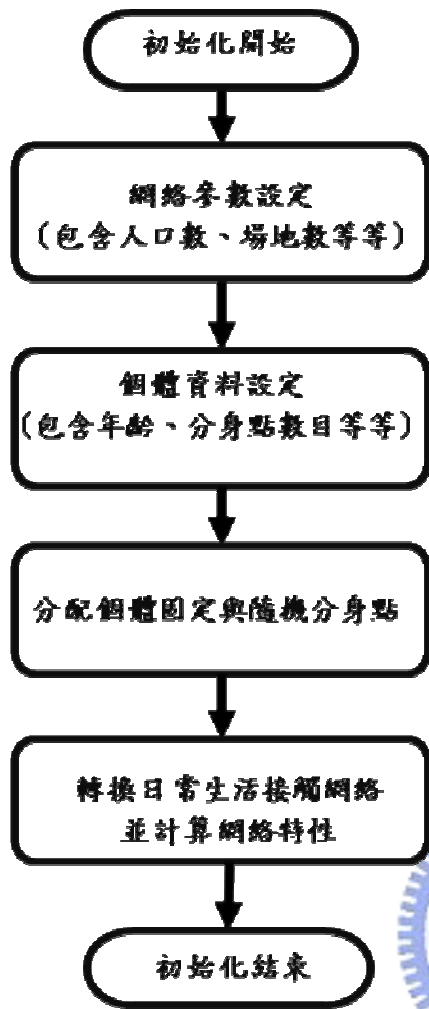


圖 22 日常生活接觸網絡建立流程圖

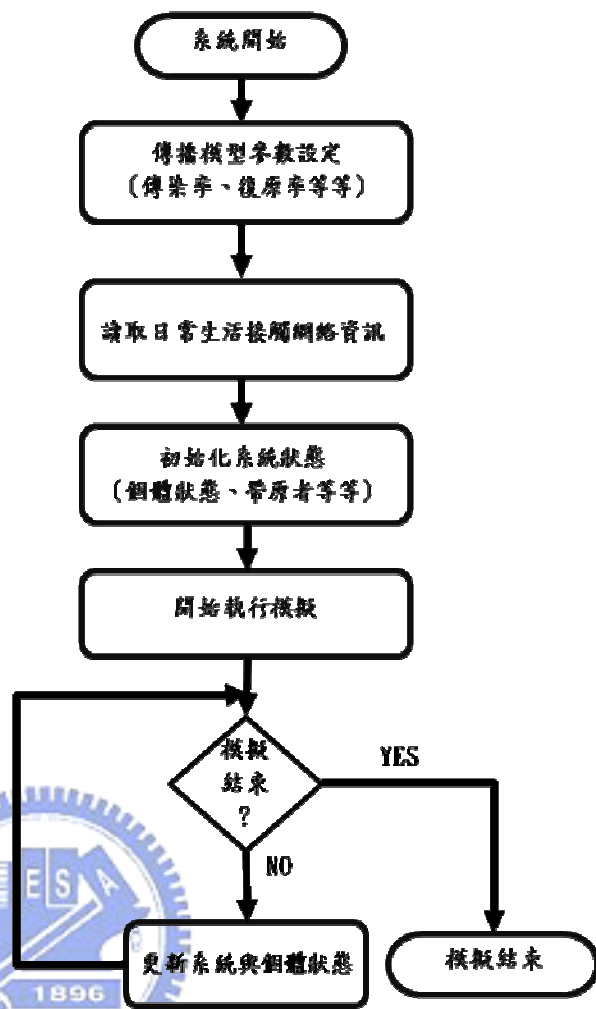


圖 23 電腦模擬執行流程圖

第四章：實驗與結果分析

本章，我們將根據第三章所提出的模型架構，實作設計(智慧型)手機之藍牙病毒的電腦傳播模擬模型。本實驗包含三個部分，日常生活接觸網絡的建構與分析、(智慧型)手機藍牙病毒的傳播動態模擬、與防疫策略的效用探討。

4.1 日常生活接觸網絡的建構與分析

日常生活接觸網絡的建構，主要在於個體、場地、與時間所構成的二分關聯網絡。此處的個體，原本指的是智慧型手機。但是，因為智慧型手機只是人類隨身攜帶的物品，本身並無意志(或是移動能力)。因此，我們將目標設定為，建構符合小世界與無尺度網絡性質的人類日常生活接觸網絡。

所以，本實驗將使用不同個體數，搭配不同場地數(如下表 7 所示)，建構相關的日常生活接觸網絡。從節點數多寡來表示網絡的大小，並調節場所數，來構成高、中、與低三種不同的密度。以此來建構小型鄉村地區(低密度的小型網絡)、小型城市型態(高密度的小型網絡)、大型鄉村地區(低密度的大型網絡)、與大型城市型態(高密度的大型網絡)。然後分析網絡的三個重要特性(群聚度、分隔度、與節點分支度的分佈)，以期符合實驗目標。

表 7 實驗參數設定(個體數與場所數搭配)

		個體數	場所數	備註
小型網絡	高密度	1000	500	新竹市
	中密度	1000	1000	
	低密度	1000	2000	新竹縣
中型網絡	高密度	2000	1000	
	中密度	2000	2000	
	低密度	2000	4000	
大型網絡	高密度	4000	2000	台北地區
	中密度	4000	4000	
	低密度	4000	8000	花蓮地區

4.1.1 群聚度分析

由下表(表 8)顯示，此網絡具有高群聚度的特性，符合小世界性質。另外，當網絡密度降低時，群聚度會微幅增加。這是因為出現一些較小的群體，它們具有非常高的群聚度，因此會把平均值拉高。

4.1.2 分隔度分析

由圖下表(表 9)顯示，此網絡具有低分隔度的特性，符合小世界性質。由於我們的設定中，隨機分身點對於場所的配置，採用優先連結設定。因此，場所容納的個體數越多，有越高的吸引力，新個體越有可能加入此場所。故，個體間可以透過這些大容量的場所，得到與其他個體間的關係，造成了低分隔度的現象。

表 8 網絡群聚度結果

模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均
1000	500	0.60957	0.62480	0.67666	0.62800	0.63944	0.61223	0.62799	0.63465	0.60180	0.62473	0.62779
	1000	0.70076	0.69718	0.70808	0.67813	0.67935	0.68110	0.69649	0.66496	0.66353	0.64721	0.68118
	2000	0.69900	0.71057	0.73797	0.72161	0.72729	0.68330	0.66580	0.70868	0.72917	0.69560	0.70790
模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均
2000	1000	0.70388	0.66472	0.68573	0.64262	0.63938	0.70674	0.65201	0.68934	0.70233	0.62480	0.67116
	2000	0.76815	0.70463	0.67570	0.69981	0.72148	0.72616	0.71915	0.72863	0.70841	0.70619	0.71583
	4000	0.73153	0.71064	0.72824	0.73253	0.72285	0.73074	0.71592	0.73220	0.69352	0.72816	0.72263
模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均
4000	2000	0.73026	0.70183	0.73262	0.69673	0.73165	0.68219	0.75091	0.68834	0.73273	0.72226	0.71695
	4000	0.76288	0.80406	0.74577	0.72706	0.74332	0.74647	0.75350	0.75881	0.74336	0.73252	0.75178
	8000	0.76700	0.74209	0.74180	0.76554	0.76909	0.75981	0.77487	0.75461	0.76142	0.74892	0.75852

表 9 網絡分隔度結果

模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均
1000	500	2.400	2.300	2.390	2.370	2.360	2.390	2.390	2.440	2.370	2.370	2.378
	1000	2.410	2.460	2.460	2.530	2.550	2.660	2.580	2.620	2.550	2.810	2.563
	2000	2.650	2.670	2.810	2.720	2.890	2.890	2.810	2.590	2.560	2.740	2.733
模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均
2000	1000	2.345	2.455	2.360	2.510	2.530	2.385	2.425	2.400	2.350	2.545	2.431
	2000	2.600	2.750	2.790	2.780	2.570	2.670	2.535	2.590	2.755	2.615	2.666
	4000	2.700	2.825	2.840	2.595	2.925	2.755	2.665	2.660	2.880	2.805	2.765
模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均
4000	2000	2.445	2.508	2.430	2.520	2.393	2.643	2.440	2.558	2.435	2.478	2.485
	4000	2.583	2.480	2.678	2.723	2.733	2.743	2.708	2.588	2.668	2.820	2.672
	8000	2.583	2.800	2.680	2.563	2.680	2.533	2.625	2.688	2.605	2.673	2.643

4.1.3 節點分支度分析

由下表(表 10)顯示，網絡中的三種節點分支度(個體分身點數、場所容納人數、與個體接觸人數)，都具有冪次律特性，符合無尺度網絡性質。因此，使用二分關聯網絡，來建立日常生活接觸網絡，是合理的方法。

表 10 網絡節點分支度結果

模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均	
		個體分身點數	-1.89500	-1.92300	-2.00400	-1.90000	-1.83500	-2.02700	-2.01000	-1.98500	-2.00300	-1.97600	-1.95580
	500	個體接觸人數	-0.91600	-0.87700	-0.76500	0.00000	-0.92700	-0.91300	-0.95600	-0.86000	-0.89300	-0.89400	-0.80010
		場地容納人數	-1.46800	-1.39700	-1.30400	-1.40100	-1.35300	-1.44900	-1.36000	-1.35800	-1.39300	-1.45500	-1.39380
		個體分身點數	-1.81500	-1.96600	-2.02900	-1.93000	-1.85800	-2.01500	-1.90700	-2.03700	-1.97700	-2.05200	-1.96860
	1000	個體接觸人數	-0.87700	-0.86400	-0.80900	-0.98700	-0.94500	-0.99900	-0.88900	-1.00400	-1.06200	-1.09700	-0.95330
		場地容納人數	-1.58400	-1.59900	-1.55400	-1.76400	-1.71000	-1.73300	-1.61000	-1.80800	-1.88600	-1.81100	-1.70590
		個體分身點數	-2.02800	-1.94300	-2.09000	-1.97800	-1.99700	-2.05600	-1.94600	-1.97900	-1.94300	-2.10400	-2.00640
	2000	個體接觸人數	-0.92700	-0.86700	-0.65100	-0.75200	-0.82100	-1.04900	-1.15100	-0.79600	-0.79100	-0.84000	-0.86450
		場地容納人數	-1.78500	-1.72400	-1.59900	-1.63900	-1.58400	-1.91200	-2.06200	-1.70700	-1.66500	-1.77800	-1.74550
模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均	
		個體分身點數	-2.12000	-2.07100	-2.15100	-2.07700	-2.13000	-2.09200	-2.07000	-2.03800	-2.08000	-2.16000	-2.09890
	1000	個體接觸人數	-0.62000	-0.75200	-0.62400	-0.86700	-0.85100	-0.66700	-0.86300	-0.62200	-0.58500	-1.02000	-0.74710
		場地容納人數	-1.39700	-1.38300	-1.27400	-1.44900	-1.51800	-1.29200	-1.42600	-1.25900	-1.35800	-1.55200	-1.39080
		個體分身點數	-2.16500	-2.14200	-2.04000	-2.23300	-2.03100	-2.13000	-2.19700	-2.14100	-1.98400	-2.07200	-2.11350
	2000	個體接觸人數	-0.40200	-0.88900	-0.90400	-0.83700	-0.67900	-0.62300	-0.66800	-0.70400	-0.71300	-0.82400	-0.72430
		場地容納人數	-1.44200	-1.54800	-1.56500	-1.54900	-1.52000	-1.57700	-1.55600	-1.35500	-1.59600	-1.55500	-1.52630
		個體分身點數	-2.17900	-2.13100	-2.18100	-2.15400	-2.08700	-2.10800	-2.09000	-2.05600	-2.07700	-2.02700	-2.10990
	4000	個體接觸人數	-0.60500	-0.83400	-0.60200	-0.64600	-0.74100	-0.71400	-0.67700	-0.61900	-1.09700	-0.77800	-0.73130
		場地容納人數	-1.56100	-1.66800	-1.46300	-1.48600	-1.57300	-1.49100	-1.51700	-1.55500	-1.85100	-1.58900	-1.57540
模擬人數	場地數	模擬一	模擬二	模擬三	模擬四	模擬五	模擬六	模擬七	模擬八	模擬九	模擬十	平均	
		個體分身點數	-2.19000	-2.19900	-2.11100	-2.14200	-2.25700	-2.32400	-2.18000	-2.17500	-2.21600	-2.19900	-2.19930
	2000	個體接觸人數	-0.72300	-0.58000	-0.49300	-0.65000	-0.46500	-0.70700	-0.99400	-0.70500	-0.51400	-0.50500	-0.63360
		場地容納人數	-1.25900	-1.29200	-1.24000	-1.25800	-1.20000	-1.29200	-1.36600	-1.27000	-1.25900	-1.23200	-1.26680
		個體分身點數	-2.12300	-2.17400	-2.15200	-2.12000	-2.25100	-2.27000	-2.13500	-2.32900	-2.18200	-2.29500	-2.20310
	4000	個體接觸人數	-0.47800	-0.80600	-0.50800	-0.59200	-0.58000	-0.48500	-0.49900	-0.44600	-0.56900	-0.59500	-0.55580
		場地容納人數	-1.30700	-1.60900	-1.25700	-1.41100	-1.29400	-1.33700	-1.32900	-1.38700	-1.26600	-1.30700	-1.35040
		個體分身點數	-2.18000	-2.26600	-2.30500	-2.23600	-2.15600	-2.23700	-2.12100	-2.22700	-2.19800	-2.16300	-2.20890
	8000	個體接觸人數	-0.44300	-0.58500	-0.52700	-0.33200	-0.40400	-0.41300	-1.11900	-0.40500	-0.44600	-0.47200	-0.51460
		場地容納人數	-1.32600	-1.31400	-1.41000	-1.32900	-1.21200	-1.22100	-1.63900	-1.30400	-1.18200	-1.36500	-1.33020

表 11 網絡特性整理

人口數=1000	群聚度	0.627787	人口數=2000	群聚度	0.671155	人口數=4000	群聚度	0.716952
	分隔度	2.378000		分隔度	2.430500		分隔度	2.484750
場所數=500	密度	0.083885	場所數=1000	密度	0.091611	場所數=2000	密度	0.116763
	幕次率	-1.955800		幕次率	-2.098900		幕次率	-2.199300
	場所容納人數	-1.393800		場所容納人數	-1.390800		場所容納人數	-1.268800
	個體接觸人數	-0.800100		個體接觸人數	-0.747100		個體接觸人數	-0.633600
人口數=1000	群聚度	0.681179	人口數=2000	群聚度	0.715831	人口數=4000	群聚度	0.751775
	分隔度	2.563000		分隔度	2.665500		分隔度	2.672000
場所數=1000	密度	0.067104	場所數=2000	密度	0.078855	場所數=4000	密度	0.108197
	幕次率	-1.968600		幕次率	-2.113500		幕次率	-2.203100
	場所容納人數	-1.705900		場所容納人數	-1.526300		場所容納人數	-1.350400
	個體接觸人數	-0.953300		個體接觸人數	-0.724300		個體接觸人數	-0.555800
人口數=1000	群聚度	0.707899	人口數=2000	群聚度	0.722633	人口數=4000	群聚度	0.758515
	分隔度	2.733000		分隔度	2.765000		分隔度	2.642750
場所數=2000	密度	0.063084	場所數=4000	密度	0.061277	場所數=8000	密度	0.106893
	幕次率	-2.006400		幕次率	-2.109000		幕次率	-2.208900
	場所容納人數	-1.745500		場所容納人數	-1.575400		場所容納人數	-1.330200
	個體接觸人數	-0.864500		個體接觸人數	-0.731300		個體接觸人數	-0.514600

4.1.4 網絡特性整理

參照上表(表 11)的結果，本實驗驗證了，使用二分關聯(圖)網絡理論，所建構的基礎網絡(人類日常生活接觸網絡)，具有高群聚度、低分隔度、與節點分支度呈現幕次率現象，符合小世界與無尺度網絡的特質。

另外，相同密度下，網絡越大，群聚度與密度也越高。這是因為，網絡越大，越有可能出現一個(或少數幾個)巨大的場所(例如，台北市東區、棒球場、或是大型公園等等)。使得個體接觸人數與場所容納人數，比小網絡還大許多。而且，此現象將會影響傳播動態，我們將在下節做動態模擬的時候分析之。

4.2 智慧型手機藍芽病毒傳播動態模擬

4.2.1 網絡模型的選擇

本節的主要工作在於，呈現(智慧型)手機之藍芽型病毒的基本傳播動態。本實驗將使用上一節的基礎網絡(日常生活接觸網絡)的參數設定，並且加上傳播模型的基本變數，列於下：

1. 傳染率：手機病毒是一種程式(電腦病毒)，因此傳染率遠高於人類的流行性傳染病。但是為了研究方便，我們必須要將它調低，以利於實驗與觀察。本實驗將其設定為 0.00002~0.00020，十種。
2. 實驗次數：同種參數設定下，必須重覆實驗，才能得到較合理的平均值結果。本實驗將其設定為 10 或 30 次。
3. 人口密度：本實驗將使用三種網絡(大/中/小)配合三種密度(高/中/低)，總共九種。

4.2.2 傳播動態之實驗結果(無防疫策略使用)

4.2.2.1 高密度情況

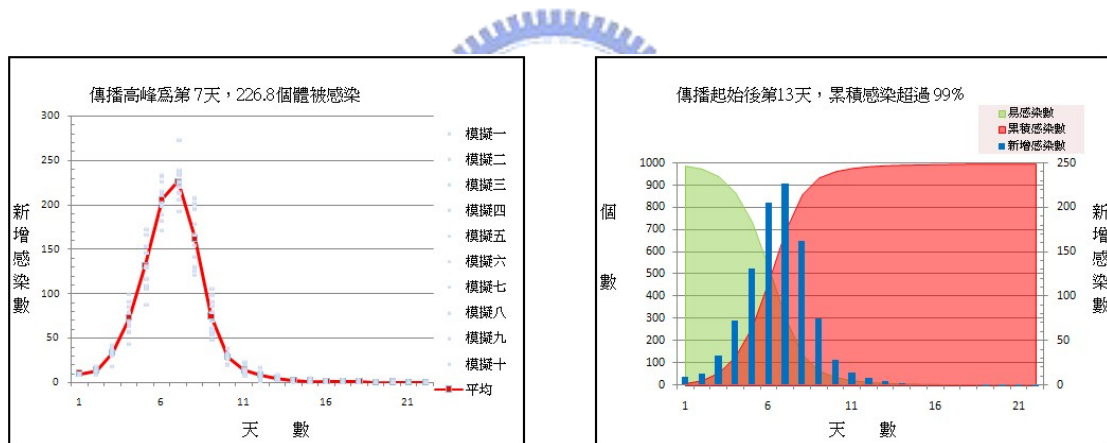


圖 24 基本傳播動態圖(小網絡，個體/場所=1000/500 為例)

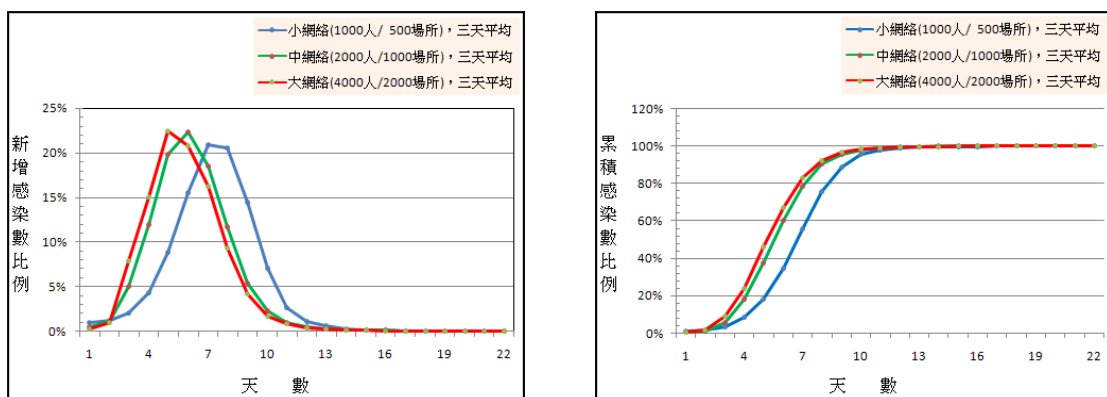


圖 25 傳播動態圖(不同網絡大小比較，以傳播率=0.00020 為例)

由上圖(圖 24 與圖 25)結果，我們得到下列說明：

- a. 病毒擴散速度很快。
- b. 不同網絡大小，結果類似(曲線圖形)。
- c. 起始時間相同(系統設定)，結束時間幾乎重疊。
- d. 傳播高峰值的比較。不同網絡大小的傳播峰值差不多。
- e. 傳播高峰期值的比較。大型網絡有一些場所的容納數較多，使得傳播動態會比較早達到高峰期。

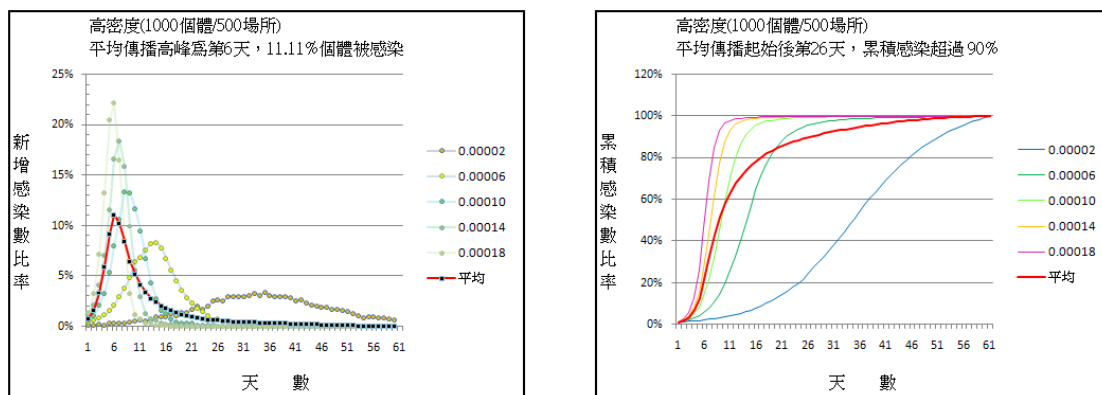


圖 26 傳播動態圖(不同傳染率比較，1000 個體/500 場所為例)

最低傳染率(0.00002)為實驗方便觀察所設置，所以傳播速度很低，把平均值給拉低。基本上，病毒的傳染率都相當高(只要有接觸就非常可能受感染)，若排除最低那組數據，藍牙類型的手機病毒傳播，與電腦病毒的擴散相似，非常快速。

4.2.2.2 中密度情況

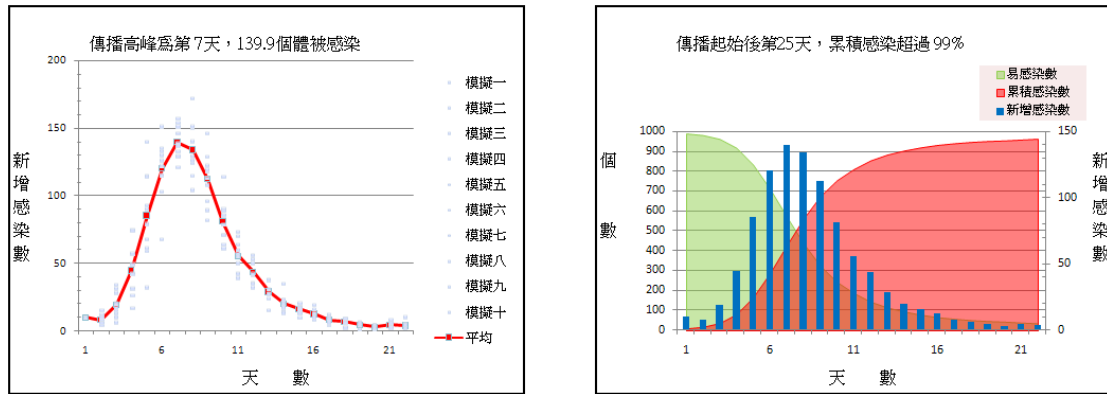


圖 27 基本傳播動態圖(小網絡，個體/場所=1000/1000 為例)

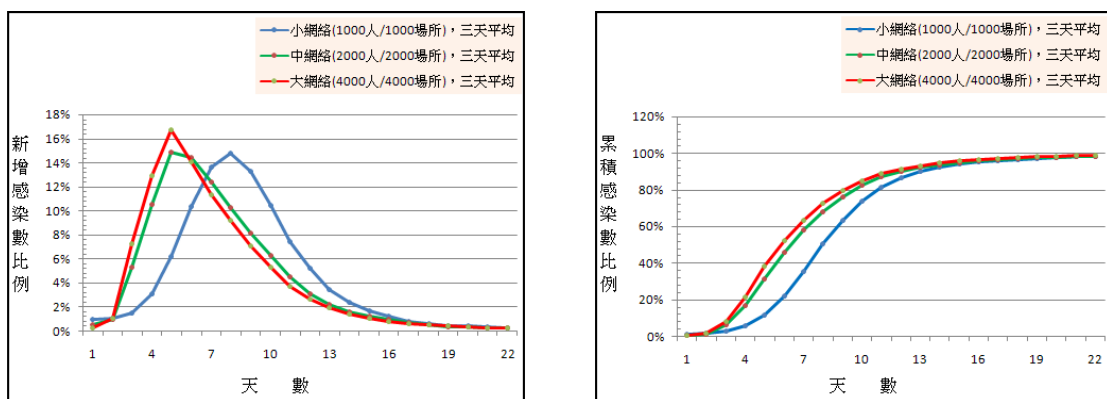


圖 28 傳播動態圖(不同網絡大小比較，以傳播率=0.00020 為例)

由上圖(圖 27 與圖 28)結果，我們得到下列說明：

- a. 病毒擴散速度很快。
- b. 不同網絡大小，結果類似(曲線圖形)。
- c. 起始時間相同(系統設定)，結束時間幾乎重疊。
- d. 傳播高峰值的比較。不同網絡大小的傳播高峰值差不多，但是中小網絡與大型網絡有些微的差距。
- e. 傳播高峰期的比較。小型網絡反而傳播高峰較慢，是因為隨機分身點採用優先連結到大人數的場所，所以大型網絡越有可能有超大型的場所。

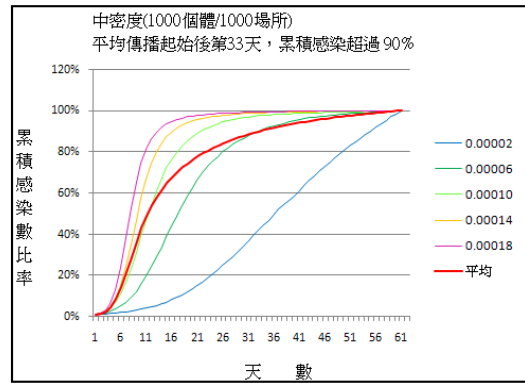
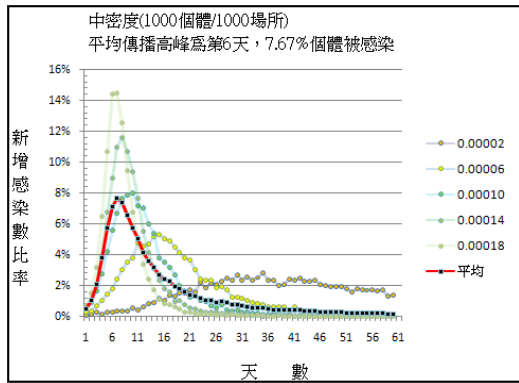


圖 29 傳播動態圖(不同傳染率比較，1000 個體/1000 場所)

與高密度的情況非常類似，藍牙類型的手機病毒傳播，與電腦病毒的擴散相似，非常快速。

4.2.2.3 低密度情況

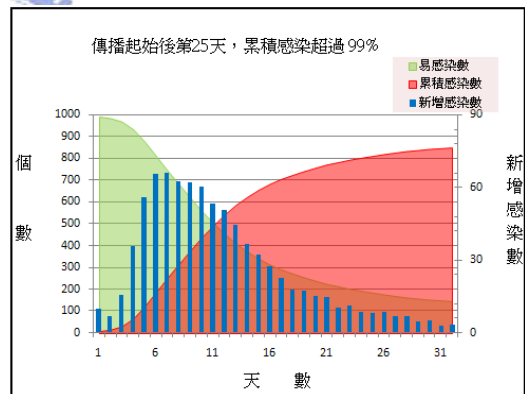
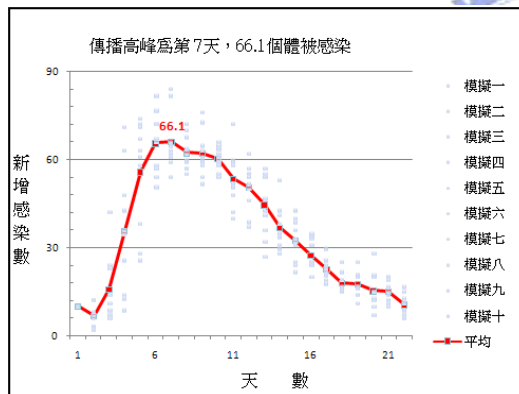


圖 30 基本傳播動態圖(小網絡，個體/場所=1000/2000)

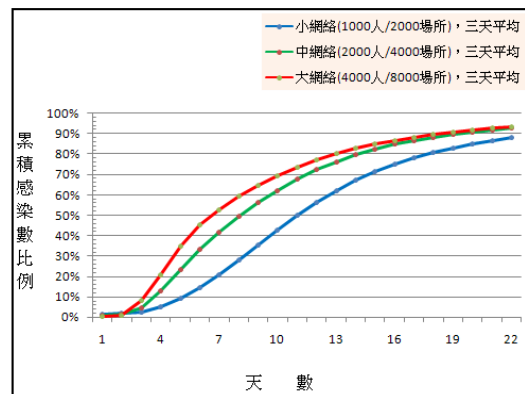
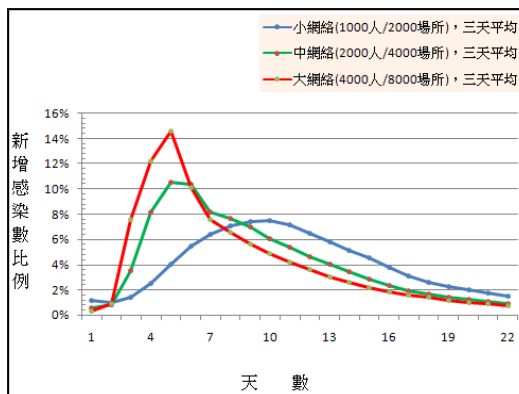


圖 31 傳播動態圖(不同網絡大小比較，以傳播率=0.00020 為例)

由上圖(圖 30 與圖 31)結果，我們得到下列說明：

- a. 病毒擴散速度很快。
- b. 對於傳播動態曲線的比較。不同網絡大小的累積感染數比例曲線，仍然非常相似。但是，新增感染數比例有蠻大的不同。不過，這個不同是因為，小網絡的傳播高蜂值比較小的緣故。參考上圖(圖 30)，我們仍然可以發現，大網絡與小網絡的傳播動態曲線是非常相似的。
- c. 傳播高蜂值的比較。不同網絡大小，高蜂值有比較明顯不同。這是因為網絡越大，越有可能有超大型的場所。
- d. 傳播高蜂期的比較，情況與高中密度相似。

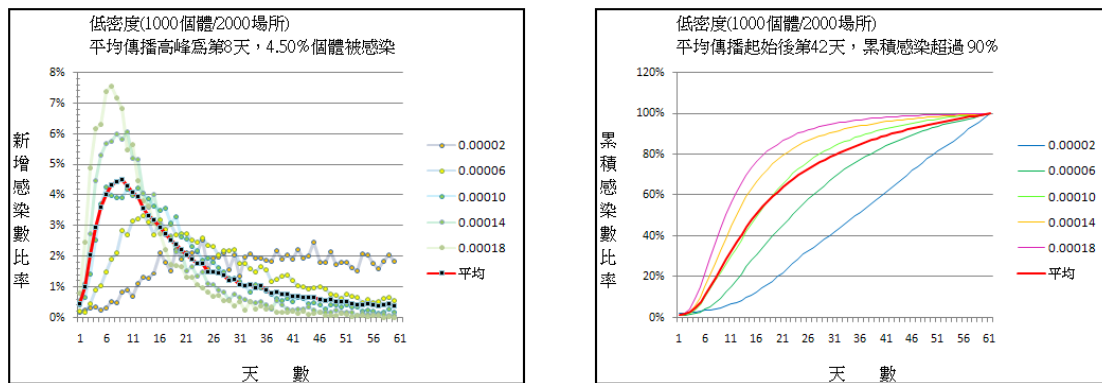


圖 32 傳播動態圖(不同傳染率比較，1000 個體/2000 場所)

過了傳播高蜂期之後，病毒的擴散並不會立即下降。這是因為，低密度網絡，存在較多分散的群體(4.1.1 小節的敘述)。

4.2.3 傳播動態之實驗結果整理(無防疫策略使用)

1. 不同傳染率的比較。很明顯的，傳染率越高，傳播高蜂值越大，傳播高蜂期越早。這點與所有的人類疾病或是電腦病毒都是類似的。
2. 傳播高蜂值比較

(1) 不同個體密度(相同網絡大小)，密度越高，傳播高蜂值越高。這是

因為高密度網絡中，擁有比較大的群體(如圖 33 所示)。

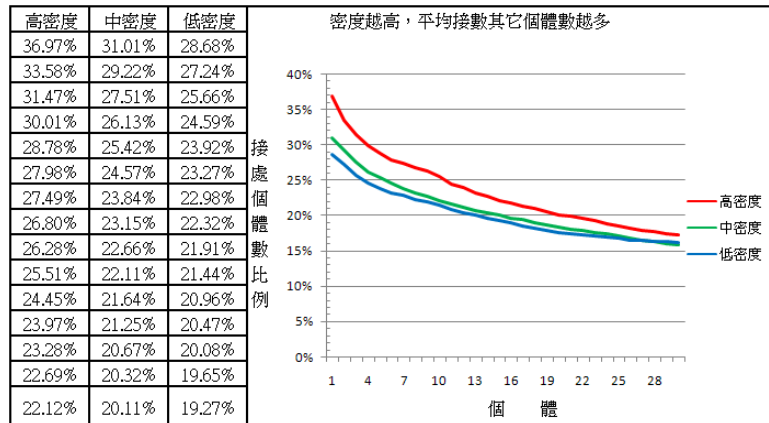


圖 33 不同密度下，個體接觸(節點分支度)比較圖

- (2) 不同網絡大小 (相同密度)，網絡越大，越有可能出現超級場所，
可以容納很多個體，造成較高的傳播高峰值 (如圖 34 所示)。

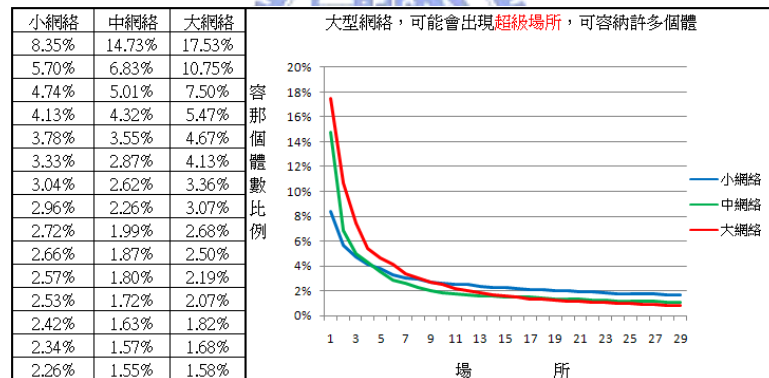


圖 34 不同網絡大小下，場所容納個體數比較圖

3. 傳播高峰期比較

- (1) 不同個體密度(相同網絡大小)，密度越高，傳播高峰期會越早。然而，因為平均分隔度差異不大，因此，傳播高峰期的差距也不明顯。
- (2) 不同網絡大小(相同密度)，網絡越大，越有可能出現超級場所，可以容納很多個體，使得傳播速度更快。(如圖 31 所示，密度越低，情況會越明顯)。

4.3 防疫策略之探討

在上一節，我們實驗了病毒在不同密度與傳染率下的傳播動態。雖然，我們刻意的將傳染率調低，以便觀察其動態。但是，結果仍是非常的驚人的快速。

本節將討論四種不同防疫策略下，傳播動態的影響：

1. 隨機防疫：隨機選取規定的數量的個體，進行免疫實驗。
2. 目標防疫：固定從接觸(其它個體數目)多的個體開始，選取規定的數量的個體，進行免疫實驗。
3. 目標防疫(場所)：目標防疫的變型。將場所容納人數做排序，容納人數越多的(該場所中的所有個體)越先受到防疫，進行免疫實驗。
4. 疫苗主動擴散策略：隨機選取固定數量的個體(例如 10 個)，置入疫苗，然後讓疫苗擴散至其它個體，達到免疫。我們以防毒軟體(對於系統個體)的佔有率，來計算其防疫強度。

4.3.1 實驗設定

另外，經由上一節的敏感度實驗，我們做以下設定，以便觀察：

1. 傳染率：以下實驗，傳染率設定為 0.00018。
2. 防疫強度：分為十個階級，從 10%~100%。
3. 使用時機：我們將時機定為，第 1 天、第 2 天、第 4 天、與第 8 天。其中第 8 天已經跨過傳播高峰期，可以得到明顯的防疫策略的效果變化。

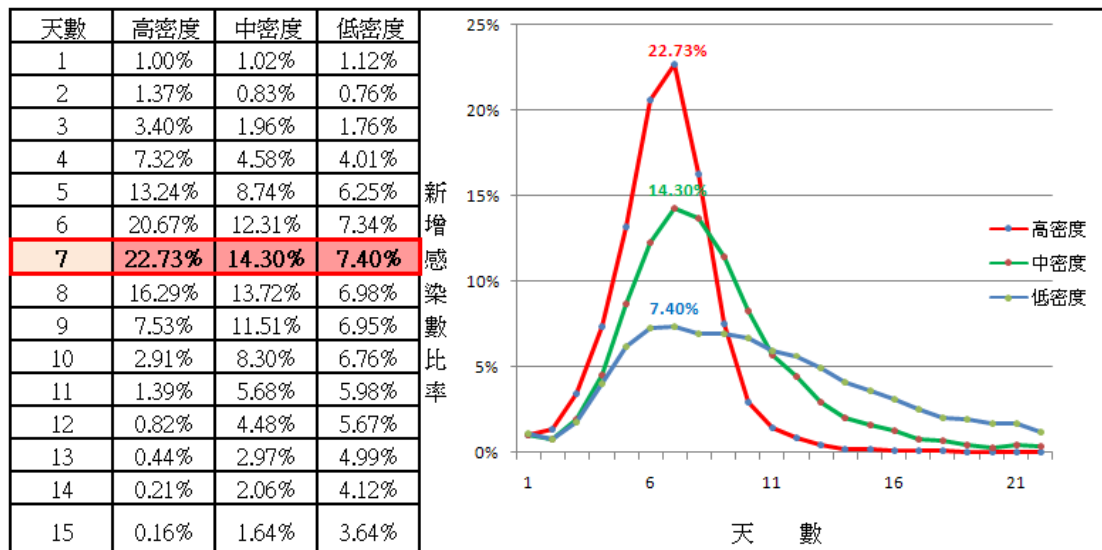


圖 35 傳播高峰期分析圖

4. 個體密度：本實驗將對高、中、與低三種密度進行實驗。

5. 策略效果的比較：

■ 策略效果 = 無策略總感染數 / 執行該策略後的總感染數。

■ 策略效果比較 = 策略 A 的效果 / 策略 B 的效果。

6. 策略成本效益的比較：

■ 策略成效 = (無策略總感染數 - 執行策略後的總感染數) / 執行該策略的防疫個數。

■ 策略成效比較 = 策略 A 的成效 / 策略 B 的成效。

4.3.2 實驗結果(高密度)

4.3.2.1 隨機免疫

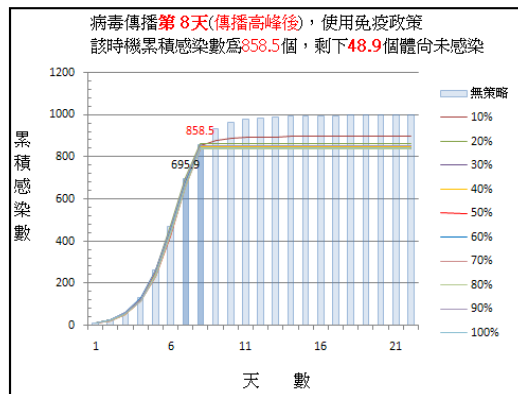
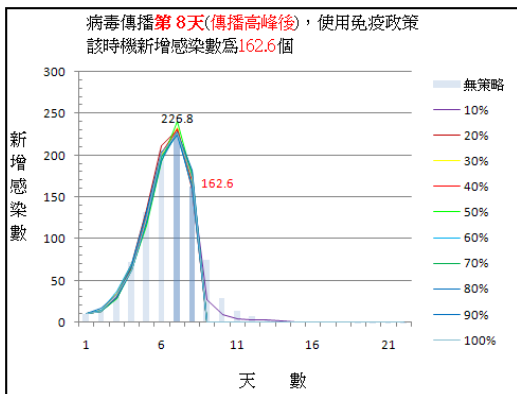
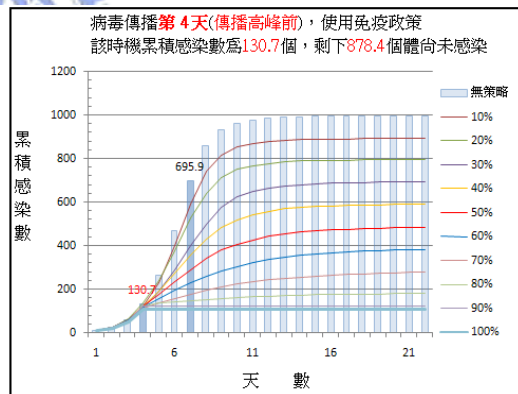
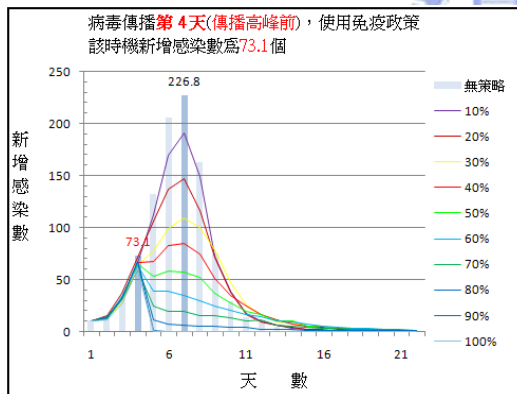
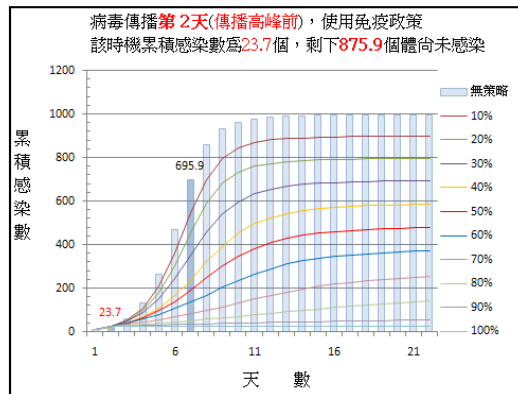
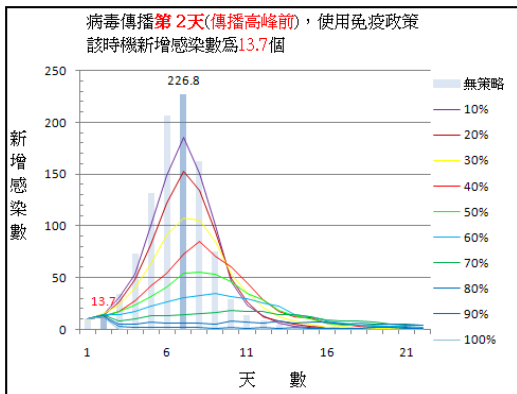
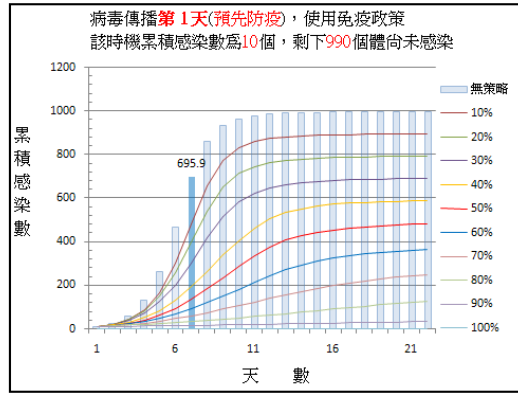
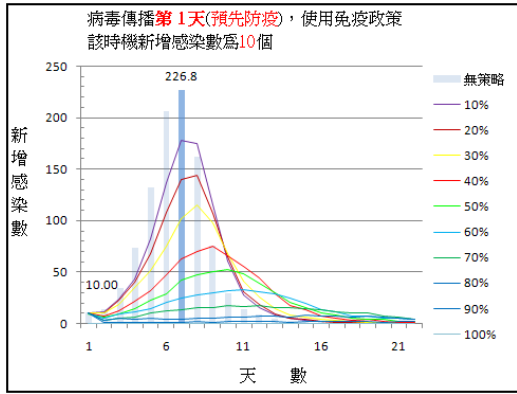


圖 36 傳播動態圖

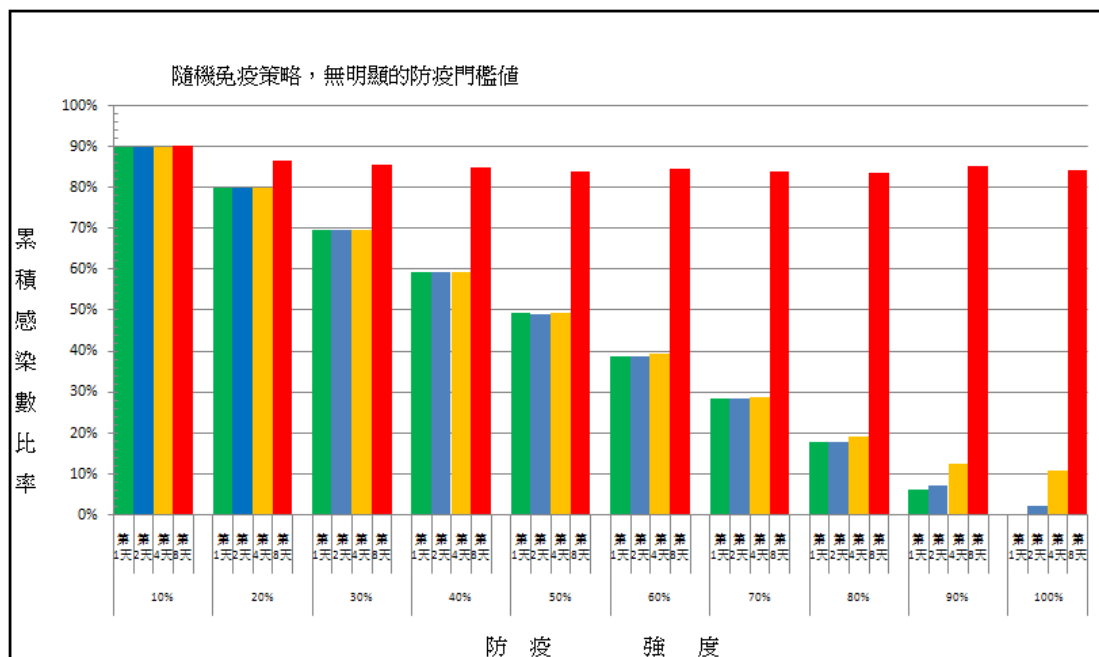


圖 37 使用時機比較圖

毋庸置疑，在疫情開始之前，完成防疫策略的實施，可以得到最佳的效果(圖 36、圖 37)。防疫強度越高，效果越好。但是，在傳播高峰(含)之後，才施行防疫策略，效果不佳(表 12、表 13)。

隨機防疫策略的使用，並無明顯的門檻值(效果)。另外，在傳播高峰之後(第 8 天)，因為大部分的個體已經被感染了，所以，防疫強度低的(10%)卻有最好的成效值(表 14)。

表 12 防疫強度與效果比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.77	0.66	0.55	0.43	0.32	0.20	0.07	0.00	0.48872
20%	1.13	1.00	0.87	0.74	0.62	0.49	0.36	0.22	0.08	0.00	0.55024
30%	1.29	1.15	1.00	0.85	0.71	0.56	0.41	0.26	0.09	0.00	0.63156
40%	1.51	1.34	1.17	1.00	0.83	0.65	0.48	0.30	0.10	0.00	0.73884
50%	1.82	1.62	1.41	1.21	1.00	0.79	0.58	0.36	0.12	0.00	0.89057
60%	2.32	2.06	1.80	1.53	1.27	1.00	0.74	0.46	0.16	0.00	1.13377
70%	3.14	2.79	2.43	2.08	1.72	1.35	1.00	0.62	0.21	0.00	1.53566
80%	5.05	4.49	3.91	3.34	2.77	2.18	1.61	1.00	0.34	0.00	2.47003
90%	14.75	13.11	11.42	9.76	8.10	6.36	4.70	2.92	1.00	0.00	7.21102
100%	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1.00	∞

第 1 天

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.78	0.66	0.55	0.43	0.32	0.20	0.08	0.03	0.49280
20%	1.13	1.00	0.87	0.74	0.62	0.49	0.36	0.22	0.09	0.03	0.55489
30%	1.29	1.14	1.00	0.85	0.71	0.56	0.41	0.26	0.11	0.03	0.63533
40%	1.51	1.34	1.17	1.00	0.83	0.65	0.48	0.30	0.12	0.04	0.74493
50%	1.83	1.62	1.42	1.21	1.00	0.79	0.58	0.36	0.15	0.05	0.90077
60%	2.31	2.05	1.79	1.53	1.26	1.00	0.73	0.46	0.19	0.06	1.13732
70%	3.16	2.80	2.45	2.09	1.73	1.37	1.00	0.63	0.26	0.08	1.55591
80%	5.03	4.47	3.90	3.33	2.75	2.18	1.59	1.00	0.41	0.13	2.47864
90%	12.24	10.87	9.50	8.10	6.70	5.30	3.88	2.43	1.00	0.31	6.03261
100%	39.88	35.42	30.93	26.38	21.82	17.28	12.63	7.93	3.26	1.00	19.65289

第 2 天

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.78	0.66	0.55	0.44	0.32	0.21	0.14	0.12	0.51043
20%	1.12	1.00	0.87	0.75	0.62	0.49	0.36	0.24	0.16	0.14	0.57420
30%	1.29	1.14	1.00	0.85	0.71	0.56	0.41	0.27	0.18	0.16	0.65693
40%	1.51	1.34	1.17	1.00	0.83	0.66	0.48	0.32	0.21	0.18	0.77062
50%	1.82	1.62	1.42	1.21	1.00	0.80	0.58	0.39	0.25	0.22	0.93114
60%	2.28	2.03	1.77	1.51	1.25	1.00	0.73	0.48	0.32	0.28	1.16565
70%	3.13	2.78	2.43	2.07	1.72	1.37	1.00	0.66	0.43	0.38	1.59885
80%	4.72	4.20	3.67	3.13	2.59	2.07	1.51	1.00	0.65	0.57	2.41175
90%	7.23	6.42	5.61	4.79	3.96	3.16	2.31	1.53	1.00	0.87	3.68856
100%	8.29	7.37	6.44	5.49	4.54	3.63	2.65	1.75	1.15	1.00	4.23059

第 4 天

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.96	0.95	0.94	0.93	0.94	0.93	0.93	0.94	0.93	0.94525
20%	1.04	1.00	0.99	0.98	0.97	0.98	0.97	0.97	0.99	0.97	0.98630
30%	1.05	1.01	1.00	0.99	0.98	0.99	0.98	0.98	1.00	0.98	0.99715
40%	1.06	1.02	1.01	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	1.00279
50%	1.08	1.03	1.02	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	1.02	1.00	1.01668
60%	1.07	1.02	1.01	1.01	0.99	1.00	0.99	0.99	1.01	1.00	1.00897
70%	1.07	1.03	1.02	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01462
80%	1.08	1.03	1.02	1.02	1.00	1.01	1.00	1.00	1.02	1.01	1.01911
90%	1.06	1.01	1.00	1.00	0.98	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	1.00102
100%	1.07	1.03	1.02	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.01	1.00	1.01257

第 8 天

表 13 成本效益比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97	1.01	0.99399
20%	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	1.01	0.99104
30%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	1.01	0.99760
40%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	1.01	0.99646
50%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.97	1.01	0.99636
60%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.98	1.02	1.00368
70%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.98	1.02	1.00272
80%	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	0.98	1.03	1.01037
90%	1.03	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.00	1.04	1.02585
100%	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.96	1.00	0.98316
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	1.01	0.99397
20%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	1.01	0.99249
30%	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	1.01	0.99364
40%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	1.01	0.99792
50%	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.02	1.00107
60%	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	1.02	1.00219
70%	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	1.02	1.00796
80%	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.03	1.01124
90%	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.03	1.01528
100%	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	1.00	0.98504
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00434
20%	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.01	1.01	0.99640
30%	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	0.99	1.01	1.01	0.99640
40%	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00235
50%	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	1.02	1.00513
60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00119
70%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.01	1.02	1.02	1.01046
80%	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.01	1.01	1.00260
90%	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	1.00	0.99129
100%	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	1.00	0.99020
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00351
20%	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99798
30%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99894
40%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99938
50%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00034
60%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99983
70%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00021
80%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00049
90%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99925
100%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00008
第 8 天											

表 14 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.00900	0.99399	1.00700	0.99397	1.01200	1.00434	0.99081	1.00351
20%	1.00600	0.99104	1.00550	0.99249	1.00400	0.99640	0.98535	0.99798
30%	1.01267	0.99760	1.00667	0.99364	1.00400	0.99640	0.98629	0.99894
40%	1.01150	0.99646	1.01100	0.99792	1.01000	1.00235	0.98673	0.99938
50%	1.01140	0.99636	1.01420	1.00107	1.01280	1.00513	0.98768	1.00034
60%	1.01883	1.00368	1.01533	1.00219	1.00883	1.00119	0.98717	0.99983
70%	1.01786	1.00272	1.02117	1.00796	1.01817	1.01046	0.98755	1.00021
80%	1.02563	1.01037	1.02450	1.01124	1.01025	1.00260	0.98783	1.00049
90%	1.04133	1.02585	1.02859	1.01528	0.99886	0.99129	0.98660	0.99925
100%	0.99800	0.98316	0.99795	0.98504	0.99776	0.99020	0.98741	1.00008

4.3.2.2 目標免疫

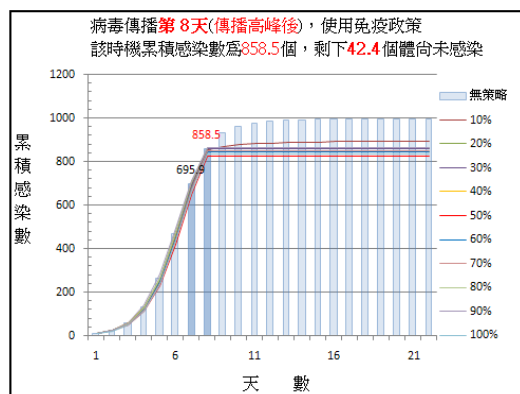
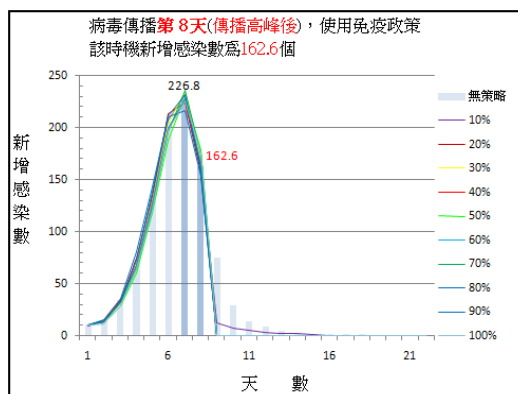
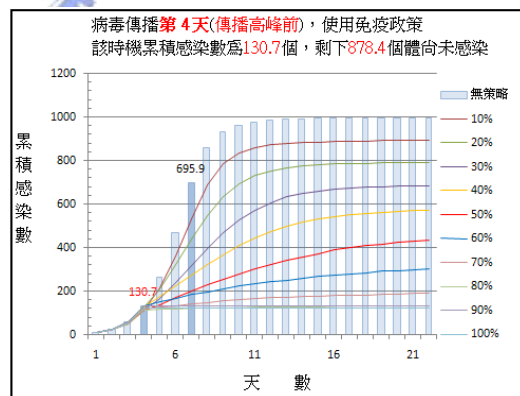
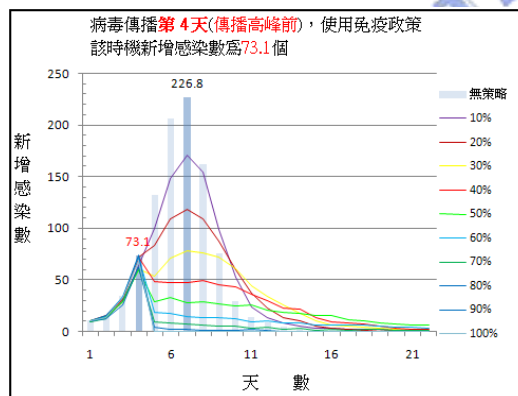
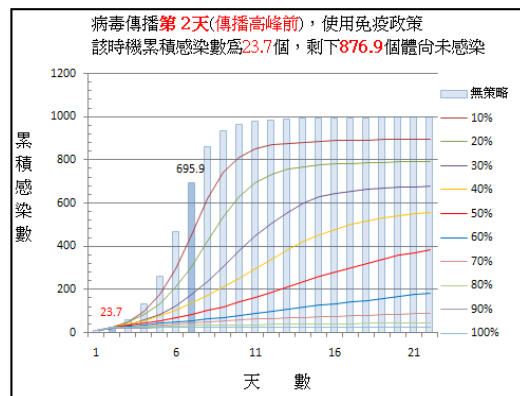
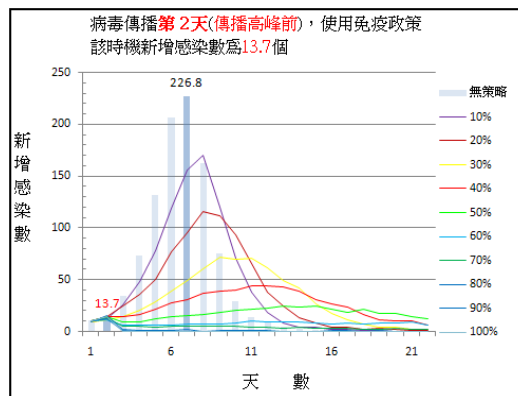
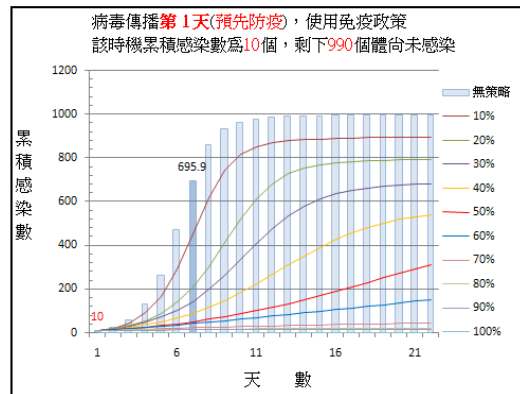
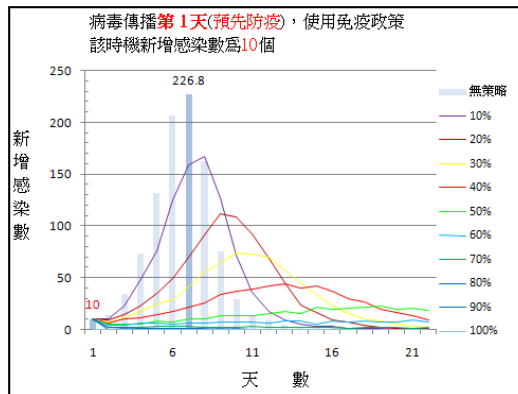


圖 38 傳播動態圖

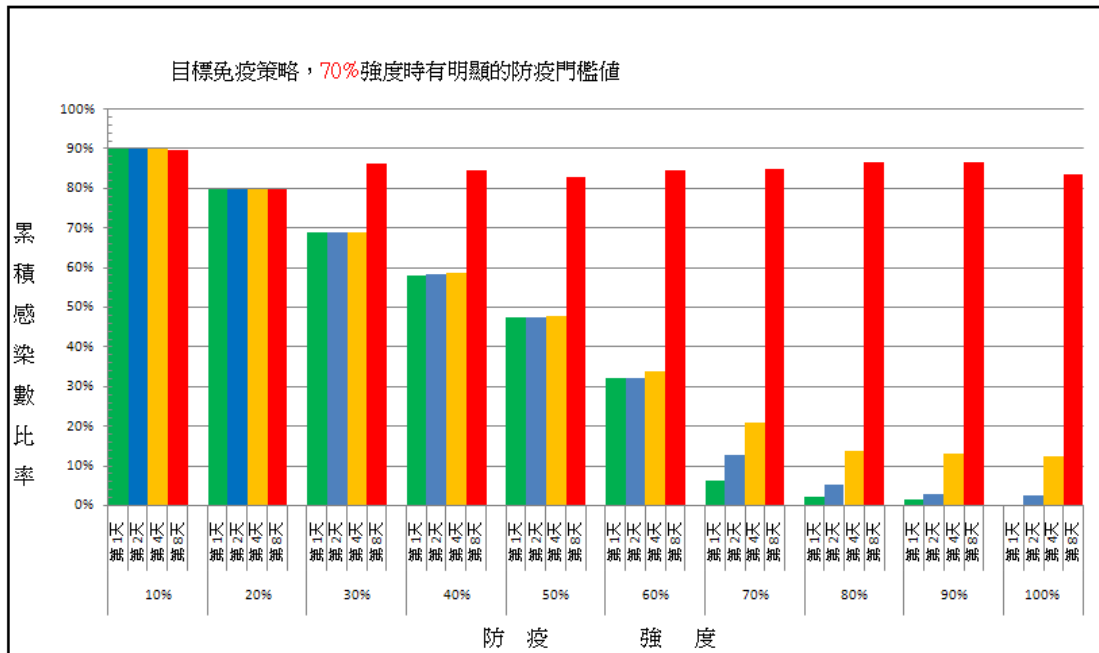


圖 39 使用時機比較圖

同樣的，在疫情開始之前，完成防疫策略的實施，可以得到最佳的效果(圖 38、圖 39)。防疫強度越高，效果越好。但是，在傳播高峰之後(第 8 天)，才施行防疫策略，效果不佳。此處，防疫強度 50% 的效果竟然最好。這是因為，在該時間點，節點分支度較大的個體，幾乎都已經受到感染了，加上實驗誤差，結果並不具太多的意義(表 15、表 16)。

目標免疫策略的實驗結果，在強度 70% 時，有明顯的防疫門檻(效果)，越早進行防疫，效果越顯著。同樣的，在傳播高峰期之後，進行防疫已經不具理性的意義了(表 17)。

表 15 防疫強度與效果比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.77	0.64	0.53	0.36	0.07	0.03	0.02	0.00	0.42994
20%	1.13	1.00	0.86	0.73	0.59	0.40	0.08	0.03	0.02	0.00	0.48378
30%	1.30	1.16	1.00	0.84	0.69	0.47	0.09	0.03	0.02	0.00	0.55953
40%	1.55	1.38	1.19	1.00	0.82	0.56	0.11	0.04	0.03	0.00	0.66685
50%	1.89	1.68	1.45	1.22	1.00	0.68	0.13	0.05	0.03	0.00	0.81310
60%	2.79	2.48	2.15	1.80	1.48	1.00	0.19	0.07	0.05	0.00	1.20115
70%	14.61	12.98	11.22	9.42	7.72	5.23	1.00	0.38	0.24	0.00	6.27964
80%	38.66	34.35	29.70	24.92	20.44	13.84	2.65	1.00	0.64	0.00	16.61940
90%	60.59	53.85	46.56	39.07	32.04	21.69	4.15	1.57	1.00	0.00	26.05203
100%	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1.00	∞
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.77	0.65	0.53	0.36	0.14	0.06	0.03	0.03	0.44463
20%	1.13	1.00	0.87	0.73	0.60	0.40	0.16	0.06	0.03	0.03	0.50049
30%	1.30	1.16	1.00	0.84	0.69	0.47	0.18	0.07	0.04	0.04	0.57846
40%	1.54	1.37	1.19	1.00	0.82	0.55	0.21	0.09	0.05	0.04	0.68591
50%	1.89	1.68	1.45	1.22	1.00	0.68	0.26	0.11	0.06	0.05	0.83973
60%	2.79	2.48	2.15	1.81	1.48	1.00	0.39	0.16	0.08	0.08	1.24195
70%	7.20	6.40	5.54	4.67	3.81	2.58	1.00	0.42	0.22	0.20	3.20313
80%	17.35	15.41	13.33	11.25	9.19	6.21	2.41	1.00	0.52	0.47	7.71354
90%	33.34	29.62	25.63	21.61	17.65	11.94	4.63	1.92	1.00	0.90	14.82491
100%	36.91	32.79	28.37	23.93	19.54	13.21	5.12	2.13	1.11	1.00	16.41111
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.77	0.65	0.53	0.37	0.23	0.15	0.15	0.14	0.48804
20%	1.13	1.00	0.87	0.74	0.60	0.42	0.26	0.17	0.17	0.15	0.55050
30%	1.30	1.15	1.00	0.85	0.69	0.49	0.30	0.20	0.19	0.18	0.63540
40%	1.53	1.36	1.18	1.00	0.81	0.57	0.36	0.23	0.22	0.21	0.74794
50%	1.88	1.67	1.45	1.23	1.00	0.71	0.44	0.28	0.28	0.26	0.91961
60%	2.67	2.37	2.05	1.74	1.42	1.00	0.62	0.40	0.39	0.37	1.30256
70%	4.29	3.80	3.30	2.80	2.28	1.61	1.00	0.65	0.63	0.59	2.09431
80%	6.62	5.87	5.08	4.32	3.51	2.48	1.54	1.00	0.97	0.91	3.22950
90%	6.82	6.05	5.24	4.45	3.62	2.56	1.59	1.03	1.00	0.94	3.33019
100%	7.29	6.46	5.60	4.76	3.87	2.73	1.70	1.10	1.07	1.00	3.55743
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.96	0.96	0.94	0.92	0.94	0.95	0.97	0.97	0.93	0.95288
20%	1.04	1.00	1.00	0.98	0.96	0.98	0.99	1.01	1.01	0.97	0.99368
30%	1.04	1.00	1.00	0.98	0.96	0.98	0.99	1.01	1.01	0.97	0.99333
40%	1.06	1.02	1.02	1.00	0.98	1.00	1.01	1.03	1.03	0.99	1.01349
50%	1.09	1.04	1.04	1.02	1.00	1.02	1.03	1.05	1.05	1.01	1.03449
60%	1.06	1.02	1.02	1.00	0.98	1.00	1.00	1.02	1.02	0.99	1.01097
70%	1.06	1.01	1.01	0.99	0.97	1.00	1.00	1.02	1.02	0.98	1.00692
80%	1.04	0.99	0.99	0.97	0.95	0.98	0.98	1.00	1.00	0.96	0.98702
90%	1.04	0.99	0.99	0.97	0.95	0.98	0.98	1.00	1.00	0.96	0.98702
100%	1.08	1.03	1.03	1.01	0.99	1.01	1.02	1.04	1.04	1.00	1.02505
第 8 天											

表 16 成本效益比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.01	0.98	0.96	0.97	0.90	0.76	0.83	0.93	1.01	0.93432
20%	0.99	1.00	0.98	0.96	0.96	0.89	0.75	0.82	0.92	1.01	0.92786
30%	1.02	1.02	1.00	0.98	0.98	0.91	0.77	0.85	0.94	1.03	0.95063
40%	1.04	1.04	1.02	1.00	1.00	0.93	0.78	0.86	0.96	1.05	0.96894
50%	1.04	1.04	1.02	1.00	1.00	0.93	0.78	0.86	0.96	1.05	0.96719
60%	1.11	1.12	1.10	1.08	1.08	1.00	0.84	0.93	1.03	1.13	1.04172
70%	1.32	1.33	1.30	1.28	1.28	1.19	1.00	1.10	1.23	1.34	1.23706
80%	1.20	1.21	1.18	1.16	1.16	1.08	0.91	1.00	1.12	1.22	1.12497
90%	1.08	1.09	1.06	1.04	1.04	0.97	0.82	0.90	1.00	1.09	1.00859
100%	0.99	0.99	0.97	0.95	0.95	0.88	0.74	0.82	0.91	1.00	0.92139
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	0.98	0.97	0.97	0.90	0.81	0.85	0.94	1.01	0.94338
20%	1.00	1.00	0.98	0.97	0.96	0.89	0.81	0.85	0.93	1.01	0.93871
30%	1.02	1.02	1.00	0.99	0.98	0.91	0.82	0.87	0.95	1.03	0.95986
40%	1.03	1.04	1.01	1.00	1.00	0.92	0.83	0.88	0.96	1.04	0.97184
50%	1.03	1.04	1.02	1.00	1.00	0.93	0.84	0.88	0.97	1.05	0.97622
60%	1.12	1.12	1.10	1.08	1.08	1.00	0.90	0.95	1.04	1.13	1.05270
70%	1.24	1.24	1.21	1.20	1.19	1.11	1.00	1.06	1.16	1.25	1.16606
80%	1.17	1.18	1.15	1.14	1.13	1.05	0.95	1.00	1.10	1.19	1.10375
90%	1.07	1.07	1.05	1.04	1.03	0.96	0.86	0.91	1.00	1.08	1.00795
100%	0.99	0.99	0.97	0.96	0.95	0.88	0.80	0.84	0.92	1.00	0.93120
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.99	0.98	0.98	0.96	0.91	0.89	0.93	1.01	1.01	0.96716
20%	1.01	1.00	0.98	0.98	0.97	0.92	0.90	0.94	1.01	1.01	0.97244
30%	1.02	1.02	1.00	1.00	0.99	0.93	0.91	0.95	1.03	1.03	0.98861
40%	1.02	1.02	1.00	1.00	0.99	0.93	0.91	0.96	1.03	1.03	0.99045
50%	1.04	1.03	1.01	1.01	1.00	0.95	0.92	0.97	1.05	1.05	1.00231
60%	1.10	1.09	1.07	1.07	1.06	1.00	0.98	1.02	1.10	1.11	1.05936
70%	1.12	1.11	1.10	1.09	1.08	1.02	1.00	1.05	1.13	1.13	1.08396
80%	1.07	1.06	1.05	1.05	1.03	0.98	0.96	1.00	1.08	1.08	1.03535
90%	0.99	0.99	0.97	0.97	0.96	0.91	0.88	0.93	1.00	1.00	0.95888
100%	0.99	0.99	0.97	0.97	0.96	0.90	0.88	0.93	1.00	1.00	0.95824
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.02801
20%	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99759
30%	0.97	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99543
40%	0.97	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.01	1.00	1.00081
50%	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99825
60%	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99682
70%	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99653
80%	0.97	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99485
90%	0.97	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99485
100%	0.97	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99773
第 8 天											

表 17 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.01200	0.93432	1.01100	0.94338	1.00700	0.96716	1.01800	1.02801
20%	1.00500	0.92786	1.00600	0.93871	1.01250	0.97244	0.98788	0.99759
30%	1.02967	0.95063	1.02867	0.95986	1.02933	0.98861	0.98574	0.99543
40%	1.04950	0.96894	1.04150	0.97184	1.03125	0.99045	0.99107	1.00081
50%	1.04760	0.96719	1.04620	0.97622	1.04360	1.00231	0.98854	0.99825
60%	1.12833	1.04172	1.12817	1.05270	1.10300	1.05936	0.98712	0.99682
70%	1.33991	1.23706	1.24964	1.16606	1.12861	1.08396	0.98683	0.99653
80%	1.21850	1.12497	1.18288	1.10375	1.07800	1.03535	0.98516	0.99485
90%	1.09244	1.00859	1.08020	1.00795	0.99839	0.95888	0.98516	0.99485
100%	0.99800	0.92139	0.99795	0.93120	0.99772	0.95824	0.98802	0.99773

4.3.2.3 目標免疫(場所)

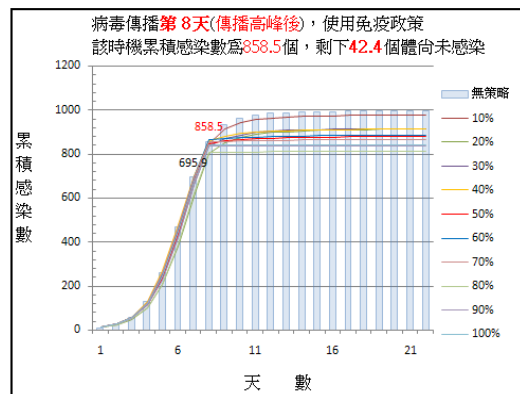
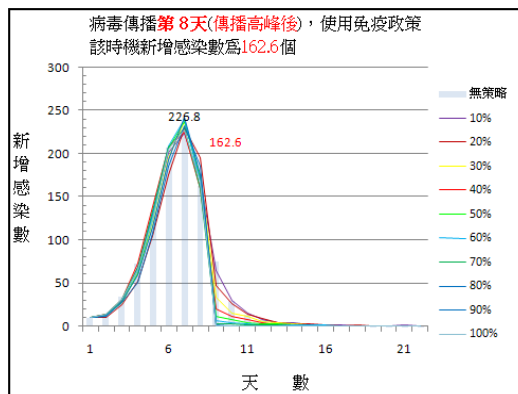
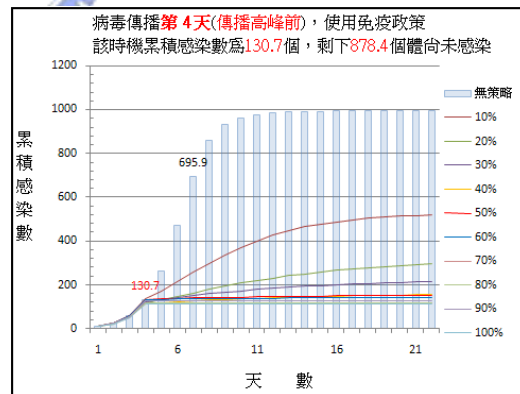
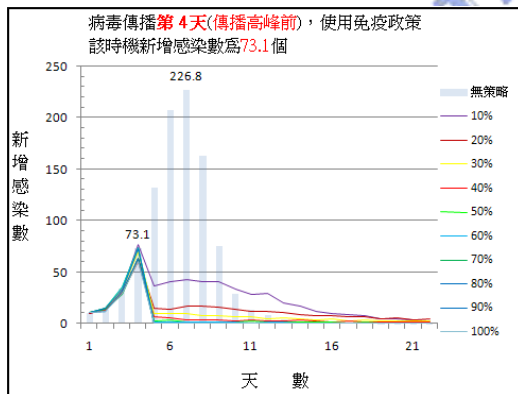
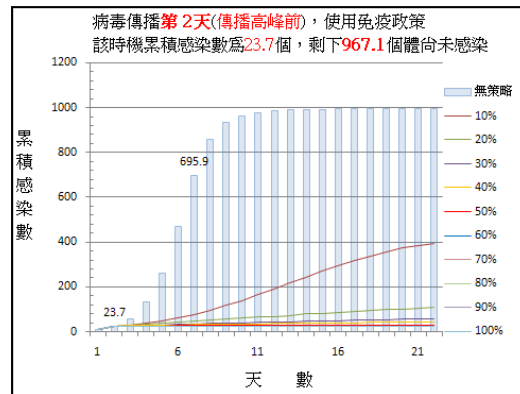
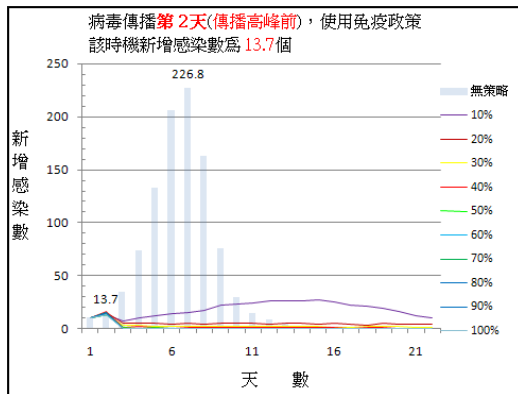
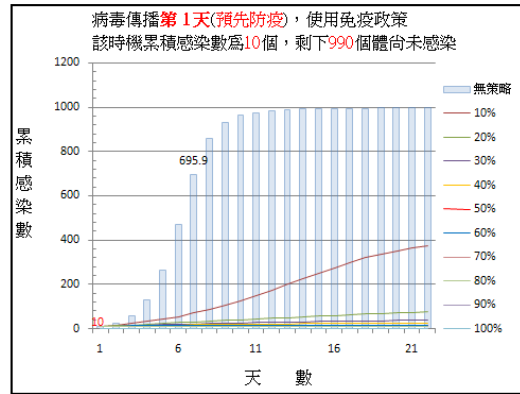
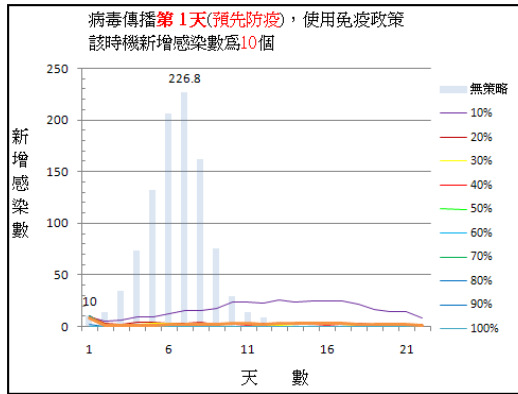


圖 40 傳播動態圖

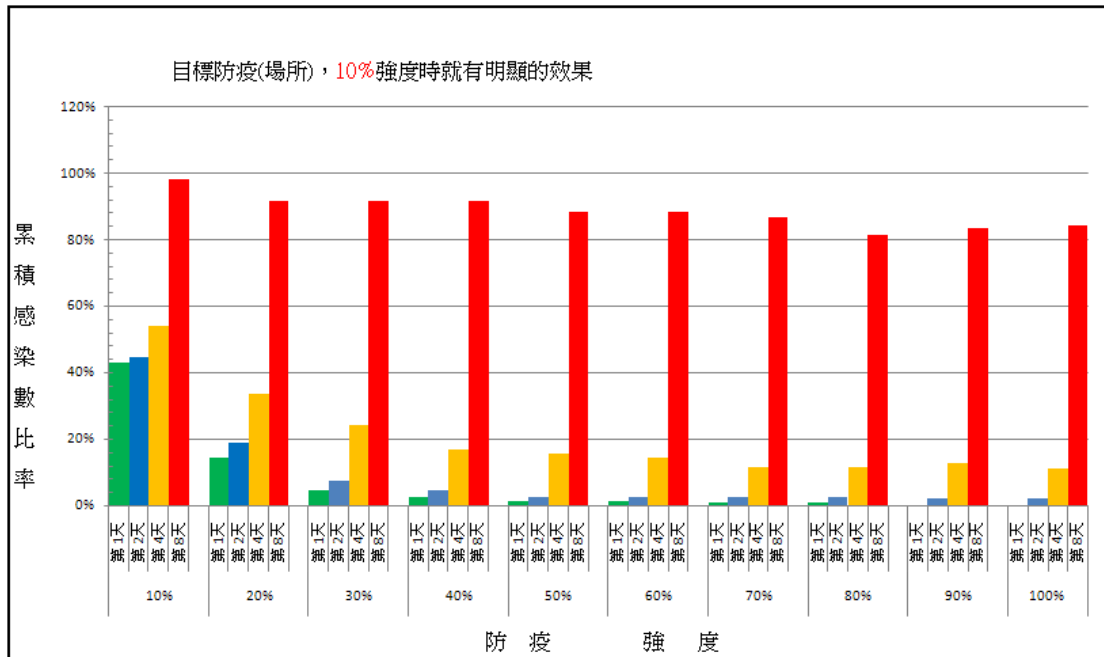


圖 41 使用時機比較圖

在疫情開始之前，完成防疫策略的實施，可以得到最佳的效果(圖 40、圖 41)。由於隨機式分身點採取場所優先連接的設定，因此有大型場所出現，可以容納許多個體。故，只要針對少數場所進行防疫，就有不錯的效果(表 18、表 19、表 20)。

表 18 防疫強度與效果比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.34	0.11	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.16189
20%	2.98	1.00	0.33	0.17	0.10	0.09	0.08	0.07	0.01	0.00	0.48187
30%	9.11	3.06	1.00	0.52	0.30	0.26	0.24	0.21	0.04	0.00	1.47521
40%	17.63	5.92	1.93	1.00	0.58	0.51	0.47	0.41	0.08	0.00	2.85369
50%	30.29	10.18	3.32	1.72	1.00	0.88	0.80	0.70	0.14	0.00	4.90352
60%	34.41	11.56	3.78	1.95	1.14	1.00	0.91	0.80	0.16	0.00	5.57040
70%	37.73	12.68	4.14	2.14	1.25	1.10	1.00	0.88	0.18	0.00	6.10789
80%	43.01	14.45	4.72	2.44	1.42	1.25	1.14	1.00	0.20	0.00	6.96300
90%	215.05	72.25	23.60	12.20	7.10	6.25	5.70	5.00	1.00	0.00	34.81500
100%	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1.00	∞
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.43	0.17	0.11	0.06	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.20447
20%	2.34	1.00	0.39	0.26	0.15	0.14	0.13	0.13	0.13	0.12	0.47850
30%	5.93	2.54	1.00	0.65	0.37	0.35	0.33	0.34	0.32	0.31	1.21347
40%	9.16	3.91	1.54	1.00	0.57	0.53	0.52	0.52	0.49	0.48	1.87263
50%	16.07	6.87	2.71	1.75	1.00	0.94	0.91	0.92	0.86	0.84	3.28556
60%	17.19	7.34	2.90	1.88	1.07	1.00	0.97	0.98	0.92	0.90	3.51390
70%	17.73	7.58	2.99	1.94	1.10	1.03	1.00	1.01	0.95	0.93	3.62590
80%	17.52	7.49	2.95	1.91	1.09	1.02	0.99	1.00	0.94	0.92	3.58307
90%	18.70	7.99	3.15	2.04	1.16	1.09	1.05	1.07	1.00	0.98	3.82395
100%	19.10	8.16	3.22	2.09	1.19	1.11	1.08	1.09	1.02	1.00	3.90601
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.62	0.45	0.32	0.29	0.27	0.22	0.22	0.24	0.21	0.38188
20%	1.61	1.00	0.72	0.51	0.47	0.43	0.35	0.35	0.38	0.33	0.61458
30%	2.22	1.38	1.00	0.70	0.64	0.59	0.48	0.48	0.53	0.46	0.84940
40%	3.17	1.97	1.42	1.00	0.92	0.84	0.69	0.69	0.75	0.65	1.21036
50%	3.46	2.15	1.56	1.09	1.00	0.92	0.75	0.75	0.82	0.71	1.32159
60%	3.76	2.33	1.69	1.19	1.09	1.00	0.81	0.82	0.89	0.77	1.43503
70%	4.62	2.87	2.08	1.46	1.34	1.23	1.00	1.00	1.10	0.95	1.76515
80%	4.61	2.86	2.07	1.45	1.33	1.23	1.00	1.00	1.10	0.95	1.76062
90%	4.20	2.61	1.89	1.33	1.21	1.12	0.91	0.91	1.00	0.87	1.60531
100%	4.85	3.01	2.18	1.53	1.40	1.29	1.05	1.05	1.15	1.00	1.85261
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.94	0.94	0.93	0.90	0.90	0.89	0.83	0.85	0.86	0.90402
20%	1.07	1.00	1.00	1.00	0.96	0.97	0.95	0.89	0.91	0.92	0.96602
30%	1.07	1.00	1.00	1.00	0.96	0.96	0.94	0.89	0.91	0.92	0.96497
40%	1.07	1.00	1.00	1.00	0.97	0.97	0.95	0.89	0.91	0.92	0.96740
50%	1.11	1.04	1.04	1.04	1.00	1.00	0.98	0.92	0.94	0.95	1.00237
60%	1.11	1.04	1.04	1.03	1.00	1.00	0.98	0.92	0.94	0.95	1.00101
70%	1.13	1.06	1.06	1.06	1.02	1.02	1.00	0.94	0.96	0.97	1.02147
80%	1.20	1.13	1.13	1.12	1.08	1.09	1.06	1.00	1.02	1.03	1.08740
90%	1.17	1.10	1.10	1.10	1.06	1.06	1.04	0.98	1.00	1.01	1.06118
100%	1.16	1.09	1.09	1.09	1.05	1.05	1.03	0.97	0.99	1.00	1.05146
第 8 天											

表 19 成本效益比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.88	0.89	0.93	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03	1.03	0.98055
20%	1.13	1.00	1.00	1.05	1.11	1.14	1.16	1.17	1.17	1.17	1.11031
30%	1.13	1.00	1.00	1.05	1.10	1.13	1.16	1.17	1.17	1.17	1.10653
40%	1.08	0.95	0.95	1.00	1.05	1.08	1.10	1.11	1.11	1.11	1.05666
50%	1.02	0.90	0.91	0.95	1.00	1.03	1.05	1.06	1.06	1.06	1.00351
60%	1.00	0.88	0.88	0.93	0.97	1.00	1.02	1.03	1.03	1.03	0.97793
70%	0.98	0.86	0.86	0.91	0.95	0.98	1.00	1.01	1.01	1.01	0.95702
80%	0.97	0.85	0.86	0.90	0.94	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	0.94773
90%	0.97	0.85	0.86	0.90	0.94	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	0.94774
100%	0.97	0.85	0.86	0.90	0.94	0.97	0.99	1.00	1.00	1.00	0.94775
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.91	0.89	0.92	0.97	0.99	1.01	1.02	1.03	1.03	0.97764
20%	1.10	1.00	0.98	1.02	1.07	1.09	1.12	1.13	1.14	1.14	1.07886
30%	1.12	1.02	1.00	1.04	1.09	1.11	1.14	1.15	1.16	1.16	1.09966
40%	1.08	0.98	0.96	1.00	1.04	1.07	1.09	1.11	1.12	1.12	1.05749
50%	1.04	0.94	0.92	0.96	1.00	1.03	1.05	1.06	1.07	1.07	1.01216
60%	1.01	0.91	0.90	0.93	0.97	1.00	1.02	1.03	1.04	1.04	0.98658
70%	0.99	0.90	0.88	0.91	0.95	0.98	1.00	1.01	1.02	1.02	0.96578
80%	0.98	0.89	0.87	0.90	0.94	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	0.95558
90%	0.97	0.88	0.86	0.90	0.94	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	0.94802
100%	0.97	0.88	0.86	0.89	0.93	0.96	0.98	0.99	1.00	1.00	0.94617
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.97	0.95	0.95	0.97	0.99	1.01	1.02	1.02	1.03	0.99055
20%	1.03	1.00	0.98	0.98	1.00	1.02	1.03	1.05	1.05	1.06	1.01955
30%	1.05	1.02	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08	1.08	1.04238
40%	1.05	1.02	1.00	1.00	1.02	1.04	1.06	1.07	1.08	1.08	1.04203
50%	1.03	1.00	0.98	0.98	1.00	1.02	1.03	1.04	1.05	1.05	1.01756
60%	1.01	0.98	0.96	0.96	0.98	1.00	1.02	1.03	1.03	1.04	1.00057
70%	0.99	0.97	0.95	0.95	0.97	0.98	1.00	1.01	1.02	1.02	0.98546
80%	0.98	0.96	0.94	0.94	0.96	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	0.97555
90%	0.98	0.95	0.93	0.93	0.95	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	0.96791
100%	0.97	0.95	0.93	0.93	0.95	0.97	0.98	0.99	1.00	1.00	0.96573
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	0.88	0.99	1.00	0.99	1.00	1.01	1.03	1.04	0.99464
20%	1.00	1.00	0.88	0.99	0.99	0.99	1.00	1.01	1.02	1.04	0.99338
30%	1.13	1.13	1.00	1.12	1.13	1.12	1.13	1.15	1.16	1.18	1.12551
40%	1.01	1.01	0.89	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.00158
50%	1.00	1.01	0.89	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.04	0.99953
60%	1.01	1.01	0.89	1.00	1.00	1.00	1.01	1.02	1.03	1.05	1.00257
70%	1.00	1.00	0.88	0.99	0.99	0.99	1.00	1.01	1.02	1.04	0.99179
80%	0.99	0.99	0.87	0.98	0.98	0.98	0.99	1.00	1.01	1.03	0.98204
90%	0.97	0.98	0.86	0.97	0.97	0.97	0.98	0.99	1.00	1.01	0.96927
100%	0.96	0.96	0.85	0.96	0.96	0.95	0.96	0.97	0.99	1.00	0.95706
第 8 天											

表 20 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.03255	0.98055	1.03115	0.97764	1.02339	0.99055	1.02618	0.99464
20%	1.16918	1.11031	1.13791	1.07886	1.05335	1.01955	1.02488	0.99338
30%	1.16520	1.10653	1.15984	1.09966	1.07693	1.04238	1.16120	1.12551
40%	1.11269	1.05666	1.11537	1.05749	1.07657	1.04203	1.03333	1.00158
50%	1.05671	1.00351	1.06755	1.01216	1.05129	1.01756	1.03122	0.99953
60%	1.02978	0.97793	1.04057	0.98658	1.03374	1.00057	1.03436	1.00257
70%	1.00776	0.95702	1.01864	0.96578	1.01813	0.98546	1.02324	0.99179
80%	0.99798	0.94773	1.00788	0.95558	1.00789	0.97555	1.01317	0.98204
90%	0.99800	0.94774	0.99990	0.94802	1.00000	0.96791	1.00000	0.96927
100%	0.99800	0.94775	0.99795	0.94617	0.99775	0.96573	0.98741	0.95706

4.3.2.4 疫苗主動擴散策略

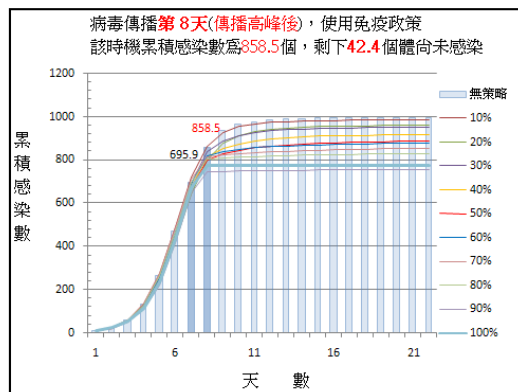
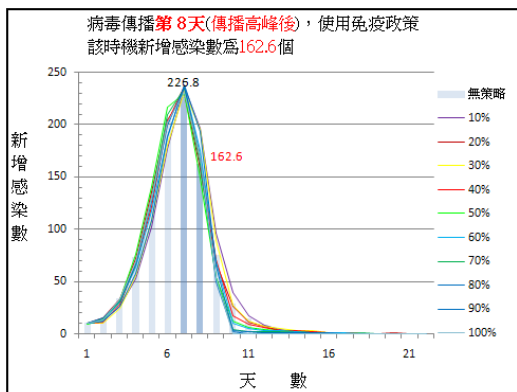
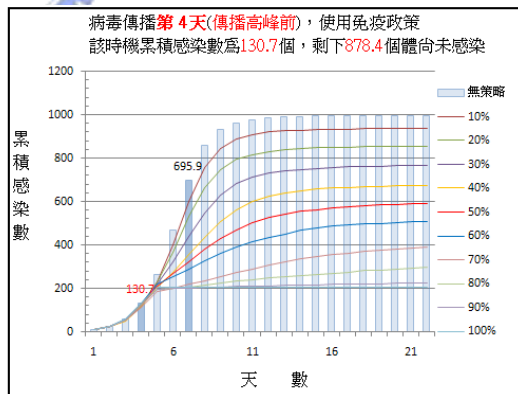
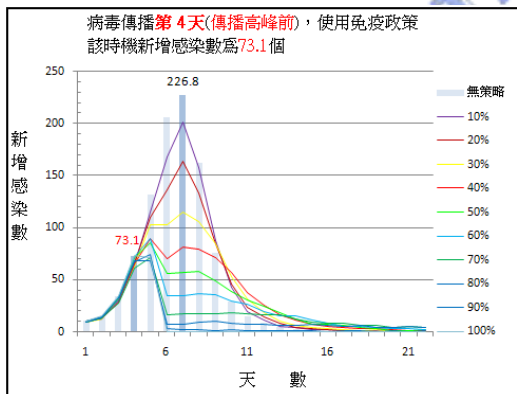
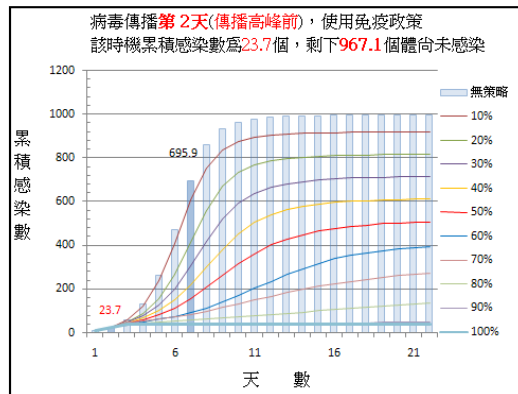
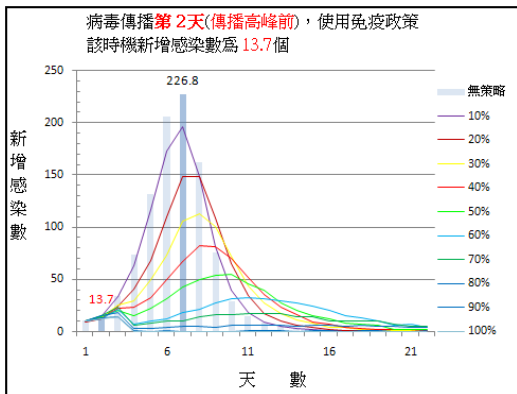
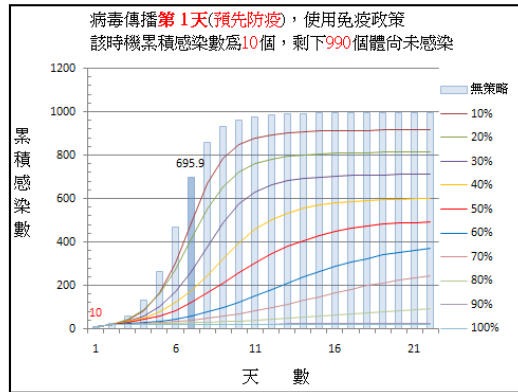
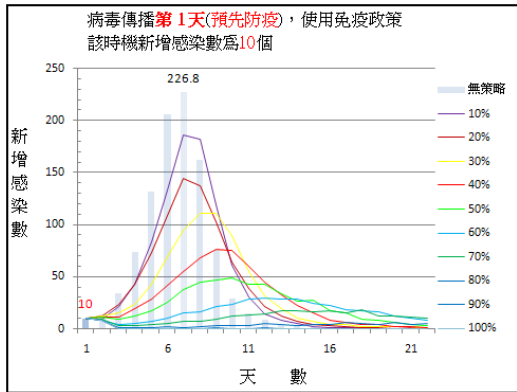


圖 42 傳播動態圖

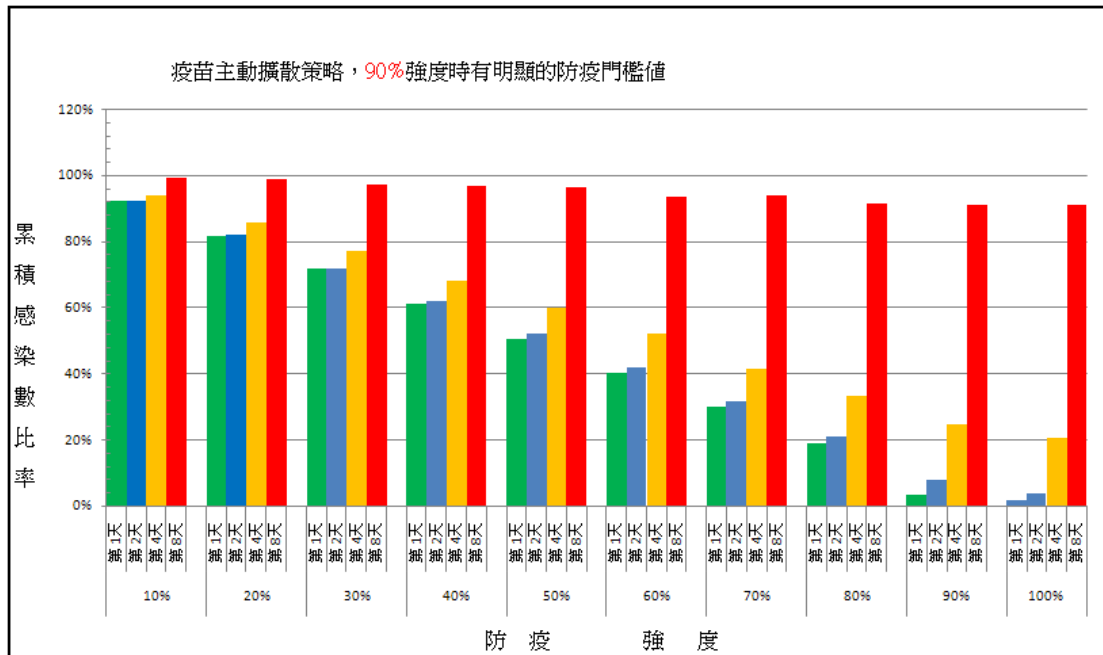


圖 43 使用時機比較圖

與前三種策略相同，在疫情開始之前，完成防疫策略的實施，可以得到最佳的效果。與前三種策略不同之處在於，疫苗的傳播也需要時間。因此，在第1天實施100%的防疫強度下，仍然會有少許的個體被感染(圖42、圖43)。

另外，由於防毒軟體的市占率選取個體，是採用隨機方式。因此，結果與隨機免疫類似。但是，在防毒軟體市占率變高的時候，成效會趨向目標免疫的結果。這是因為，節點分支度越大的個體，越有可能得到疫苗的傳播，而受到免疫。原理與目標免疫是相同的(表21、表22、表23)。

表 21 防疫強度與效果比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.89	0.78	0.66	0.55	0.44	0.33	0.20	0.04	0.02	0.48995
20%	1.13	1.00	0.88	0.75	0.62	0.49	0.37	0.23	0.04	0.02	0.55311
30%	1.29	1.14	1.00	0.85	0.71	0.56	0.42	0.26	0.05	0.02	0.63079
40%	1.51	1.34	1.17	1.00	0.83	0.66	0.49	0.31	0.06	0.03	0.74083
50%	1.82	1.61	1.41	1.20	1.00	0.80	0.59	0.37	0.07	0.03	0.89172
60%	2.28	2.02	1.77	1.51	1.26	1.00	0.75	0.47	0.09	0.04	1.11924
70%	3.06	2.71	2.38	2.02	1.68	1.34	1.00	0.63	0.12	0.06	1.49963
80%	4.88	4.33	3.79	3.23	2.68	2.14	1.60	1.00	0.18	0.09	2.39337
90%	26.47	23.45	20.56	17.51	14.55	11.59	8.65	5.42	1.00	0.51	12.97098
100%	52.05	46.11	40.43	34.42	28.60	22.79	17.01	10.66	1.97	1.00	25.50226
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64	0.56	0.44	0.36	0.26	0.22	0.59379
20%	1.09	1.00	0.90	0.80	0.70	0.61	0.48	0.39	0.29	0.24	0.64995
30%	1.22	1.11	1.00	0.88	0.78	0.68	0.54	0.43	0.32	0.27	0.72204
40%	1.38	1.26	1.13	1.00	0.88	0.76	0.61	0.49	0.36	0.30	0.81748
50%	1.57	1.43	1.29	1.14	1.00	0.87	0.69	0.56	0.41	0.34	0.92971
60%	1.80	1.64	1.48	1.31	1.15	1.00	0.80	0.64	0.47	0.39	1.06878
70%	2.26	2.06	1.86	1.64	1.44	1.25	1.00	0.81	0.59	0.49	1.34125
80%	2.80	2.56	2.30	2.03	1.79	1.56	1.24	1.00	0.74	0.61	1.66254
90%	3.81	3.48	3.13	2.76	2.43	2.11	1.68	1.36	1.00	0.83	2.25993
100%	4.57	4.18	3.76	3.32	2.92	2.54	2.02	1.63	1.20	1.00	2.71522
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.97	0.96	0.93	0.90	0.89	0.87	0.84	0.77	0.78	0.89268
20%	1.03	1.00	0.99	0.96	0.93	0.92	0.89	0.87	0.79	0.80	0.91679
30%	1.04	1.01	1.00	0.97	0.94	0.93	0.90	0.88	0.80	0.81	0.92768
40%	1.07	1.05	1.03	1.00	0.97	0.96	0.94	0.91	0.83	0.84	0.95913
50%	1.11	1.08	1.07	1.03	1.00	0.99	0.97	0.94	0.85	0.87	0.99056
60%	1.12	1.09	1.08	1.04	1.01	1.00	0.97	0.94	0.86	0.87	0.99840
70%	1.15	1.12	1.11	1.07	1.04	1.03	1.00	0.97	0.88	0.90	1.02579
80%	1.18	1.15	1.14	1.10	1.07	1.06	1.03	1.00	0.91	0.93	1.05737
90%	1.30	1.27	1.25	1.21	1.17	1.16	1.13	1.10	1.00	1.02	1.16191
100%	1.28	1.25	1.23	1.19	1.15	1.14	1.11	1.08	0.98	1.00	1.14148
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98843
20%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.99012
30%	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.99322
40%	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99683
50%	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99865
60%	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00353
70%	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00200
80%	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00630
90%	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01116
100%	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.01033
第 8 天											

表 22 成本效益比較表

	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.91	1.00	0.98066
20%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.92	1.00	0.98502
30%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.92	1.00	0.98530
40%	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.92	1.01	0.99192
50%	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.93	1.01	0.99552
60%	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	0.93	1.02	0.99755
70%	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.93	1.02	1.00186
80%	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	1.01	1.00	0.95	1.03	1.01460
90%	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.08	1.07	1.06	1.00	1.09	1.07321
100%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.91	1.00	0.98085
第 1 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.94	1.00	0.98981
20%	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.94	1.00	0.98619
30%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.94	1.01	0.99100
40%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.94	1.01	0.99401
50%	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.94	1.01	0.99149
60%	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.95	1.01	0.99582
70%	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	0.99	0.95	1.02	1.00261
80%	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.00	0.96	1.03	1.01455
90%	1.06	1.07	1.06	1.06	1.06	1.06	1.05	1.04	1.00	1.07	1.05234
100%	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.94	1.00	0.98572
第 2 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	0.97	0.95	0.92	0.93	0.93	0.89	0.90	0.89	0.94	0.93252
20%	1.03	1.00	0.98	0.95	0.96	0.96	0.92	0.93	0.92	0.97	0.96130
30%	1.06	1.03	1.00	0.98	0.98	0.99	0.94	0.95	0.94	1.00	0.98561
40%	1.08	1.05	1.02	1.00	1.00	1.01	0.96	0.97	0.96	1.02	1.00854
50%	1.08	1.05	1.02	1.00	1.00	1.01	0.96	0.97	0.96	1.02	1.00648
60%	1.07	1.04	1.01	0.99	0.99	1.00	0.96	0.96	0.96	1.01	0.99882
70%	1.12	1.09	1.06	1.04	1.04	1.05	1.00	1.01	1.00	1.06	1.04572
80%	1.11	1.08	1.05	1.03	1.03	1.04	0.99	1.00	0.99	1.05	1.03732
90%	1.12	1.09	1.06	1.04	1.04	1.05	1.00	1.01	1.00	1.06	1.04558
100%	1.06	1.03	1.00	0.98	0.98	0.99	0.95	0.95	0.95	1.00	0.99031
第 4 天											
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	平均
10%	1.00	1.56	1.11	1.18	1.39	0.95	1.12	0.92	1.00	1.11	1.13419
20%	0.64	1.00	0.71	0.75	0.89	0.61	0.72	0.59	0.64	0.71	0.72558
30%	0.90	1.41	1.00	1.06	1.25	0.86	1.01	0.83	0.90	1.00	1.02249
40%	0.85	1.33	0.94	1.00	1.18	0.81	0.95	0.78	0.85	0.95	0.96517
50%	0.72	1.13	0.80	0.85	1.00	0.69	0.81	0.67	0.72	0.80	0.81866
60%	1.05	1.64	1.16	1.23	1.45	1.00	1.18	0.97	1.05	1.17	1.19030
70%	0.89	1.39	0.99	1.05	1.24	0.85	1.00	0.82	0.89	0.99	1.01177
80%	1.08	1.70	1.20	1.27	1.50	1.03	1.22	1.00	1.08	1.21	1.23026
90%	1.00	1.56	1.11	1.18	1.39	0.95	1.12	0.92	1.00	1.11	1.13462
100%	0.90	1.40	1.00	1.06	1.24	0.86	1.01	0.83	0.90	1.00	1.01853
第 8 天											

表 23 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	0.98207	0.98066	0.96692	0.98981	0.74815	0.93252	0.09886	1.13419
20%	0.98644	0.98502	0.96339	0.98619	0.77124	0.96130	0.06324	0.72558
30%	0.98672	0.98530	0.96808	0.99100	0.79074	0.98561	0.08912	1.02249
40%	0.99336	0.99192	0.97102	0.99401	0.80913	1.00854	0.08413	0.96517
50%	0.99696	0.99552	0.96856	0.99149	0.80748	1.00648	0.07136	0.81866
60%	0.99899	0.99755	0.97279	0.99582	0.80134	0.99882	0.10375	1.19030
70%	1.00331	1.00186	0.97942	1.00261	0.83897	1.04572	0.08819	1.01177
80%	1.01607	1.01460	0.99109	1.01455	0.83222	1.03732	0.10723	1.23026
90%	1.07476	1.07321	1.02800	1.05234	0.83886	1.04558	0.09890	1.13462
100%	0.98226	0.98085	0.96293	0.98572	0.79451	0.99031	0.08878	1.01853

4.3.3 實驗結果(中密度)

4.3.3.1 隨機免疫

隨機免疫策略，仍無明顯的成效差異。

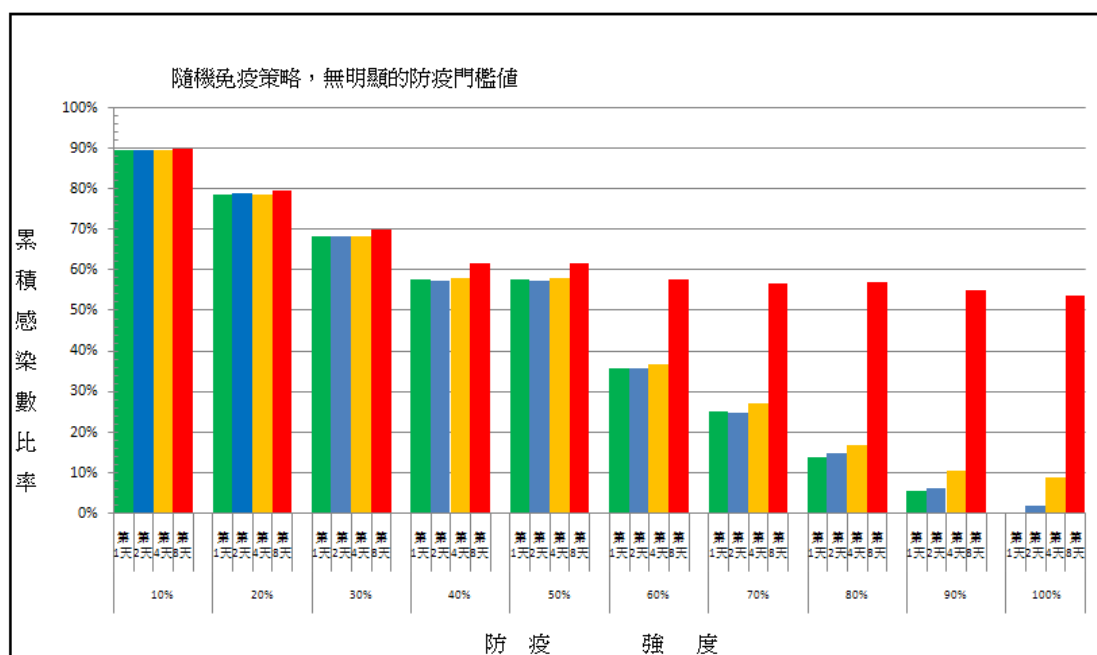


圖 44 使用時機比較圖

表 24 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.01100	0.98095	1.03100	1.00184	1.01400	0.99685	0.99100	1.02909
20%	1.04750	1.01636	1.02350	0.99455	1.04050	1.02290	0.99800	1.03636
30%	1.03167	1.00100	1.03267	1.00346	1.03500	1.01749	0.98100	1.01870
40%	1.03675	1.00593	1.03750	1.00816	1.02500	1.00766	0.95238	0.98899
50%	1.03420	1.00346	1.03980	1.01039	1.03300	1.01553	0.95007	0.98659
60%	1.04700	1.01588	1.04383	1.01431	1.03317	1.01569	0.95056	0.98710
70%	1.04571	1.01463	1.04907	1.01940	1.02160	1.00432	0.95161	0.98819
80%	1.05175	1.02049	1.04113	1.01168	1.01550	0.99832	0.95109	0.98764
90%	1.02678	0.99626	1.01835	0.98955	0.98228	0.96566	0.95309	0.98973
100%	0.97840	0.94932	0.97794	0.95028	0.97638	0.95987	0.95434	0.99102

4.3.3.2 目標免疫

目標免疫策略的成效值，往前提昇到 50%的防疫強度。這是因為，密度越低時，節點分支度較大的，越容易變成瓶頸節點。因此，只要能夠針對那些節點做防疫，就會有理想的成效。

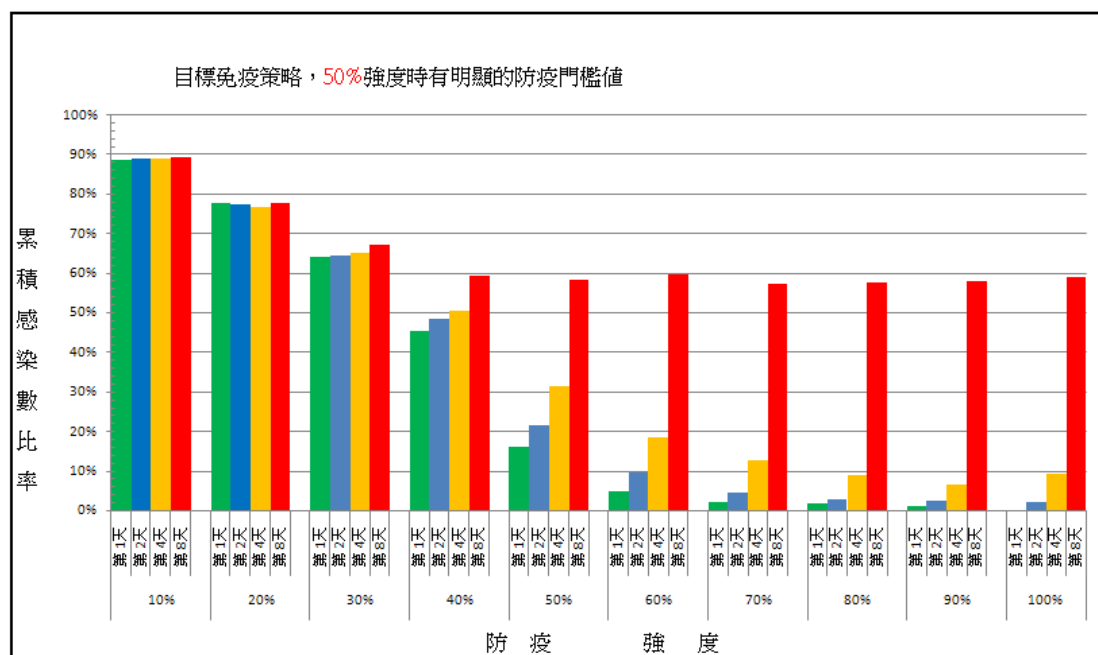


圖 45 使用時機比較圖

表 25 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.10000	0.90183	1.08900	0.91021	1.08900	0.94982	1.05600	1.06349
20%	1.09200	0.89527	1.10350	0.92233	1.13400	0.98907	1.09200	1.09975
30%	1.16533	0.95539	1.16133	0.97067	1.14100	0.99517	1.07267	1.08028
40%	1.33800	1.09695	1.26225	1.05502	1.20750	1.05317	1.01796	1.02518
50%	1.64420	1.34798	1.53880	1.28617	1.34260	1.17101	0.97201	0.97890
60%	1.55083	1.27144	1.47433	1.23228	1.33033	1.16031	0.94823	0.95495
70%	1.36896	1.12233	1.33734	1.11778	1.22175	1.06560	0.95064	0.95738
80%	1.20238	0.98576	1.18800	0.99296	1.11400	0.97162	0.95058	0.95733
90%	1.07433	0.88078	1.06352	0.88891	1.02020	0.88982	0.95005	0.95679
100%	0.97840	0.80213	0.97797	0.81741	0.97621	0.85144	0.94902	0.95575

4.3.3.3 目標免疫(場所)

目標免疫(場所)策略，在 10%強度時，效果相當的明顯。因此，只要針對少數的場所做防疫，將可以達到理想的目標。

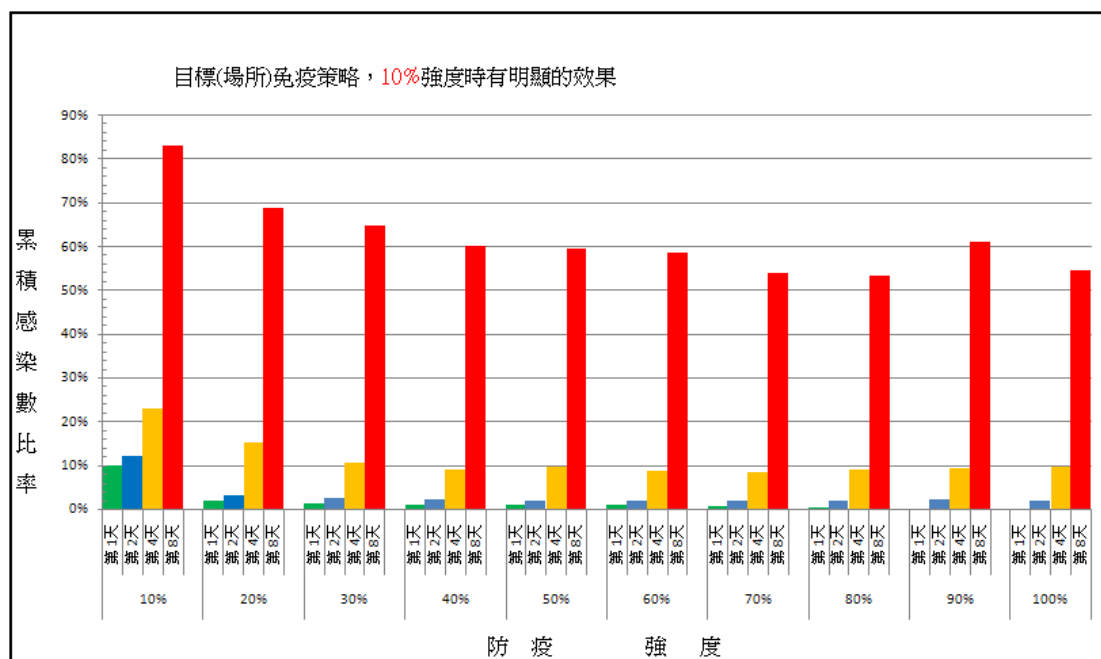


圖 46 使用時機比較圖

表 26 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.38475	1.31693	1.38027	1.30585	1.27635	1.21997	1.07618	1.06971
20%	1.22702	1.16692	1.23390	1.16737	1.19752	1.14462	1.08476	1.07825
30%	1.09954	1.04569	1.11008	1.05022	1.10460	1.05580	1.06590	1.05950
40%	1.03676	0.98598	1.04741	0.99093	1.04592	0.99971	1.03433	1.02811
50%	1.00665	0.95735	1.01675	0.96193	1.01564	0.97078	1.01181	1.00573
60%	0.98315	0.93499	0.99307	0.93953	0.99256	0.94871	0.98354	0.97763
70%	0.97825	0.93033	0.98491	0.93180	0.98375	0.94029	0.96858	0.96276
80%	0.97834	0.93042	0.98099	0.92810	0.97952	0.93625	0.96080	0.95503
90%	0.97840	0.93048	0.97794	0.92521	0.97624	0.93311	0.94622	0.94053
100%	0.97840	0.93048	0.97797	0.92524	0.97616	0.93304	0.95355	0.94782

4.3.3.4 疫苗主動擴散策略

疫苗主動擴散策略的使用，在第 1 天與第 2 天時，會有接近目標防疫策略的效果。然而，使用時機越晚，成效值明顯降低(因為疫苗也需要時間來傳播)。

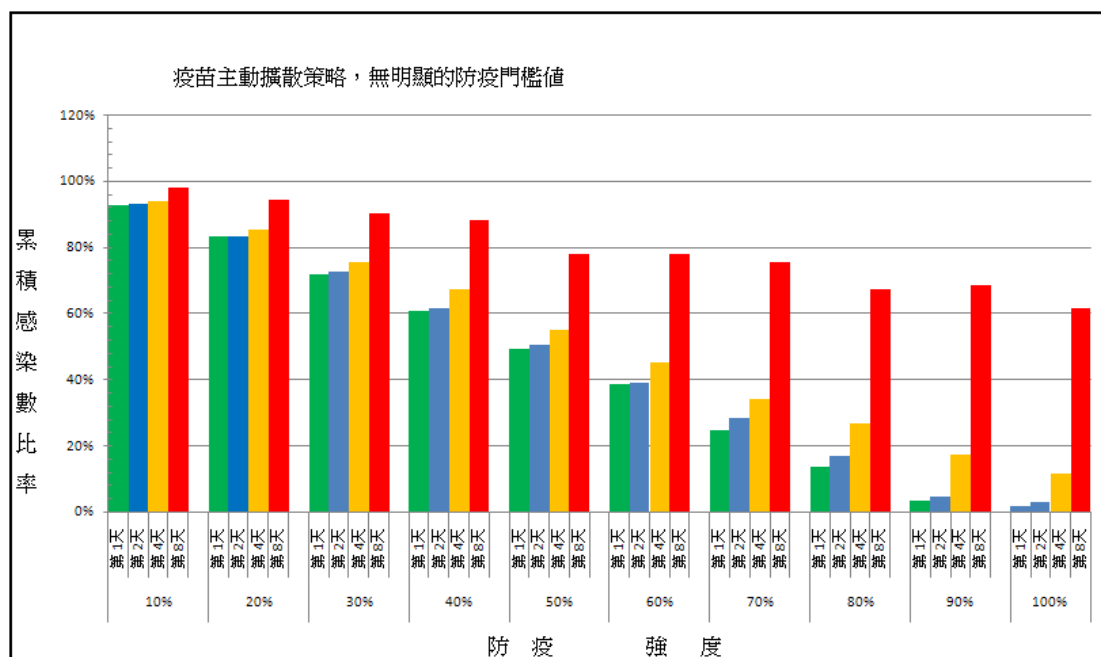


圖 47 使用時機比較圖

表 27 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.04192	0.99580	0.99108	0.96893	0.85127	0.93886	0.28551	0.79548
20%	1.02776	0.98227	1.01452	0.99184	0.88535	0.97644	0.36095	1.00566
30%	1.04353	0.99734	1.01872	0.99595	0.90712	1.00045	0.35556	0.99063
40%	1.04877	1.00235	1.02039	0.99758	0.87901	0.96945	0.31627	0.88116
50%	1.05315	1.00653	1.03362	1.01051	0.93482	1.03100	0.45505	1.26784
60%	1.04938	1.00293	1.04588	1.02250	0.94015	1.03689	0.37507	1.04499
70%	1.09595	1.04744	1.03631	1.01315	0.95637	1.05478	0.35369	0.98544
80%	1.05653	1.00976	1.04505	1.02169	0.92343	1.01845	0.41019	1.14285
90%	1.07432	1.02677	1.06305	1.03929	0.92118	1.01596	0.34742	0.96795
100%	0.97985	0.93648	0.96712	0.94550	0.87936	0.96984	0.38361	1.06881

4.3.4 實驗結果(低密度)

4.3.4.1 隨機免疫

如同高、中密度的情況，隨機防疫策略的使用，仍無明顯的效果差異。

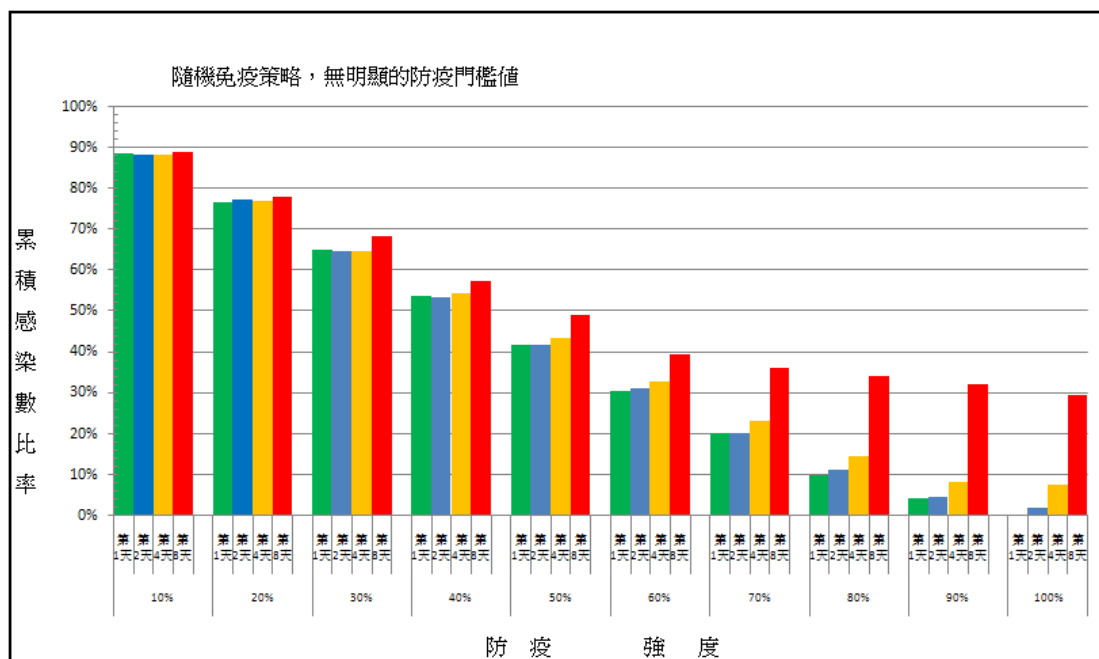


圖 48 使用時機比較圖

表 28 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.03000	1.02288	1.04400	1.04100	1.05600	1.07005	0.98100	2.06451
20%	1.04000	1.03281	1.01050	1.00760	1.02450	1.03813	0.98650	2.07609
30%	1.04100	1.03380	1.04500	1.04200	1.05300	1.06701	0.94733	1.99366
40%	1.03525	1.02809	1.04000	1.03701	1.02250	1.03610	0.95225	2.00401
50%	1.04260	1.03539	1.03940	1.03642	1.00960	1.02303	0.90960	1.91425
60%	1.03383	1.02668	1.02450	1.02156	0.99967	1.01297	0.08994	0.18928
70%	1.01929	1.01224	1.01845	1.01553	0.98112	0.99417	0.85526	1.79990
80%	1.00725	1.00029	0.99175	0.98890	0.95538	0.96809	0.85204	1.79312
90%	0.95033	0.94376	0.94772	0.94500	0.91207	0.92420	0.85047	1.78981
100%	0.89340	0.88722	0.89141	0.88885	0.88563	0.89742	0.85516	1.79969

4.3.4.2 目標免疫

目標免疫策略的成效值，往前提昇到 40%的防疫強度。如中密度時的實驗結果，密度越低時，節點分支度較大的個體，越容易變成瓶頸節點。因此，只要能夠針對那些節點做防疫，就會有理想的成效。

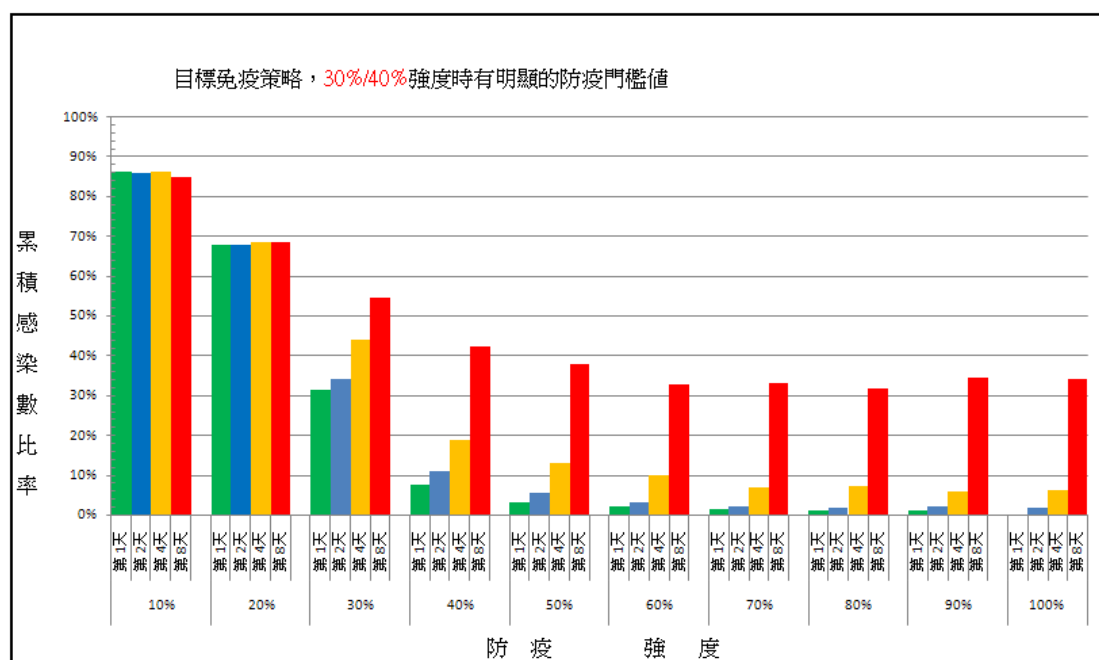


圖 49 使用時機比較圖

表 29 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.24100	0.94058	1.25600	0.96079	1.23700	0.99705	1.34300	1.28462
20%	1.44000	1.09141	1.43650	1.09887	1.41050	1.13690	1.39850	1.33771
30%	2.03700	1.54389	1.96033	1.49958	1.66700	1.34364	1.34967	1.29100
40%	2.05950	1.56094	1.98800	1.52075	1.81000	1.45891	1.28600	1.23010
50%	1.73140	1.31227	1.68720	1.29065	1.55500	1.25337	1.10660	1.05850
60%	1.45867	1.10556	1.44433	1.10486	1.34000	1.08007	1.00117	0.95765
70%	1.25923	0.95440	1.25107	0.95702	1.18841	0.95789	0.87251	0.83459
80%	1.10250	0.83561	1.09600	0.83840	1.03450	0.83383	0.85105	0.81406
90%	0.98144	0.74386	0.97475	0.74565	0.93840	0.75637	0.84606	0.80929
100%	0.89340	0.67713	0.89167	0.68209	0.88699	0.71494	0.84633	0.80954

4.3.4.3 目標免疫(場所)

目標免疫(場所)策略，在 10%的強度，就已經達到最高的效果了。另外，計算成效時也發現，10%的強度有最佳的成效值。因此，在低密度時，這種策略是相當可行的。

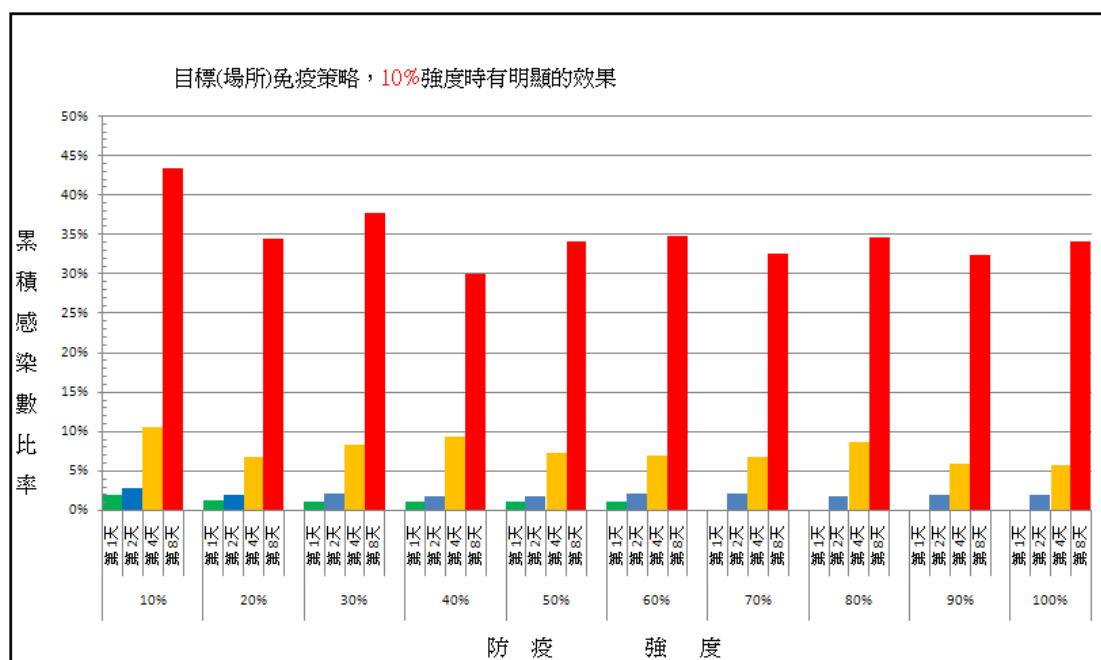


圖 50 使用時機比較圖

表 30 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.31411	1.38092	1.32691	1.38791	1.31316	1.38052	1.24330	1.35369
20%	1.06101	1.11495	1.07150	1.12076	1.06975	1.12463	1.06946	1.16441
30%	0.96231	1.01123	0.97192	1.01660	0.96922	1.01895	0.95175	1.03624
40%	0.93581	0.98338	0.94508	0.98853	0.94100	0.98927	0.92418	1.00623
50%	0.90791	0.95407	0.91663	0.95877	0.91217	0.95897	0.88072	0.95891
60%	0.89413	0.93958	0.90220	0.94367	0.89765	0.94371	0.86012	0.93649
70%	0.89340	0.93882	0.89147	0.93245	0.88660	0.93208	0.84954	0.92497
80%	0.89340	0.93882	0.89178	0.93277	0.88444	0.92982	0.84557	0.92065
90%	0.89340	0.93882	0.89149	0.93247	0.88747	0.93300	0.84982	0.92527
100%	0.89340	0.93882	0.89155	0.93253	0.88765	0.93318	0.84660	0.92176

4.3.4.4 疫苗主動擴散策略

疫苗主動擴散策略的使用，在第 1 天與第 2 天時，會有接近目標防疫策略的效果。然而，使用時機越晚，成效值明顯降低(因為疫苗也需要時間來傳播)。

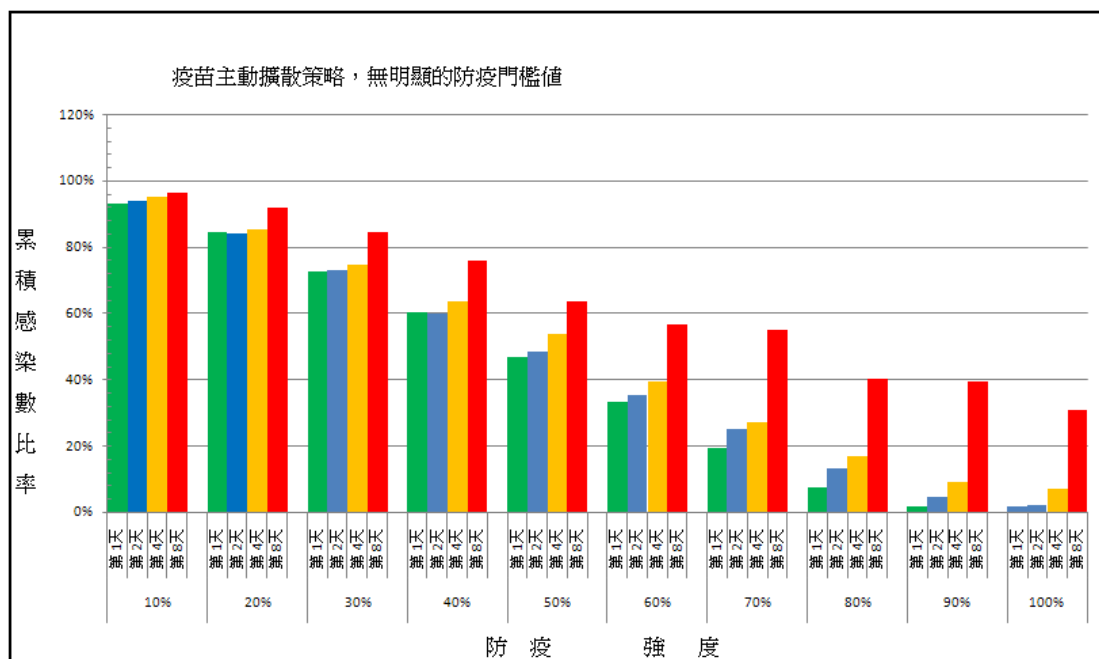


圖 51 使用時機比較圖

表 31 成本效益總表

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	1.18058	1.03710	1.10021	0.99442	0.89959	0.88192	0.58380	0.85738
20%	1.12806	0.99096	1.13948	1.02991	1.03373	1.01343	0.59623	0.87564
30%	1.17146	1.02908	1.14023	1.03059	1.06971	1.04870	0.65150	0.95680
40%	1.15720	1.01656	1.16281	1.05100	1.07169	1.05064	0.70413	1.03410
50%	1.18058	1.03710	1.14734	1.03702	1.03240	1.01211	0.80079	1.17605
60%	1.17851	1.03528	1.14881	1.03835	1.07456	1.05345	0.76524	1.12385
70%	1.19552	1.05022	1.11906	1.01146	1.07529	1.05417	0.66308	0.97381
80%	1.17237	1.02989	1.10717	1.00071	1.05591	1.03517	0.75819	1.11350
90%	1.08978	0.95733	1.06391	0.96161	1.00870	0.98888	0.67241	0.98751
100%	0.97019	0.85227	0.96510	0.87230	0.91828	0.90024	0.67973	0.99826

4.3.5 實驗結果整理

表 32 防疫策略之成本效益總表

防疫策略	第 1 天			第 2 天			第 4 天			第 8 天			
	原始成效值	強度	成效值比較	原始成效值	強度	成效值比較	原始成效值	強度	成效值比較	原始成效值	強度	成效值比較	
高密度	隨機	1.04133	90%	1.00000	1.02859	90%	1.00057	1.01817	70%	1.21359	0.99081	10%	9.23980
	目標	1.33991	70%	1.28673	1.24964	70%	1.21560	1.12861	70%	1.34524	1.01800	10%	9.49339
	目標(場所)	1.16918	20%	1.12277	1.15984	30%	1.12825	1.07693	30%	1.28364	1.16120	30%	10.82879
	疫苗法	1.07476	90%	1.03210	1.02800	90%	1.00000	0.83897	70%	1.00000	0.10723	80%	1.00000
中密度	隨機	1.05175	80%	1.00000	1.04907	70%	1.00000	1.03500	30%	1.08221	0.99800	20%	2.19316
	目標	1.64420	50%	1.56330	1.53880	50%	1.46682	1.34260	50%	1.40385	1.09200	20%	2.39974
	目標(場所)	1.38475	10%	1.31661	1.38027	10%	1.31571	1.27635	10%	1.33458	1.08476	20%	2.38383
	疫苗法	1.09595	70%	1.04202	1.06305	90%	1.01332	0.95637	70%	1.00000	0.45505	50%	1.00000
低密度	隨機	1.04260	50%	1.00000	1.04500	30%	1.00000	1.05600	10%	1.00000	0.98650	20%	1.23191
	目標	2.05950	40%	1.97535	1.98800	40%	1.90239	1.81000	40%	1.71402	1.39850	20%	1.74640
	目標(場所)	1.31411	10%	1.26042	1.32691	10%	1.26977	1.31316	10%	1.24352	1.24330	10%	1.55259
	疫苗法	1.19552	70%	1.14667	1.16281	40%	1.11273	1.07529	70%	1.01827	0.80079	50%	1.00000

由上表所示(表 32)，我們可以做下列結論

1. 相同密度下，目標防疫策略始終擁有最佳的成效。
2. 隨著使用時機越慢，防疫成效值越差。
3. 疫苗主動擴散策略的使用，在病毒傳播起始前(預先防疫)，擁有比隨機防疫還好的效果。但是，第 2 天之後使用，基本上效果不佳，這是因為，此種防疫策略的使用，需要依靠疫苗的傳播，需要傳播時間。
4. 目標防疫與疫苗主動擴散策略的使用，與網絡密度有關。不同密度下(相同策略與相同使用時機)，密度越低，成效值越高。這是因為，密度越低，節點分支度較大的個體，容易變成瓶頸節點。因此，針對這些節點做防疫，將會有不錯的成效。
5. 隨機防疫的使用，基本上不隨網絡密度相關，這是因為，防疫的個體選取，一切都是隨緣，沒有規則的緣故。

4.4. 實驗總結

由以上的實驗，我們可以歸納出一些結果：

1. 使用二分關聯圖形(網絡)理論，配合社會分身點概念，所建構的日常生活

活接觸網絡，符合小世界與無尺度網絡特性。那就是，具有高群聚性、低分隔度、與節點分支度成冪次律分布等性質。

2. 網絡越大，越容易形成超級場所，使得傳播高峰期便早，傳播高峰值變高。
3. 密度越低，病毒在傳播高峰期之後的動態，變化越緩慢。這是因為，相對於高密度，低密度具有較多分散的群體。但是，因為高密度的群體雖然較小，但是卻較大，因此，傳播高峰值較大。
4. 由於藍牙型的手機病毒屬於電腦病毒，因此沒有所謂的潛伏期。所以，傳播速度非常快。這使得，防疫策略的使用時機，必須非常早(越早越好)。根據實驗結果，防疫策略使用時機接近傳播高峰期，甚至在其之後，基本上已經沒有成效了。
5. 基本防疫策略的實驗結果，最主要是作為其它策略的參考。因為，隨機防疫雖然簡單，但是成效通常不佳。目標防疫雖然成效最佳，但是要付出的代價太大，幾乎是無施行的可能。
6. 策略效果或是成效之選擇，無標準的規則可循，基本上是由相關單位來做取捨。因為要取捨，就必須要犧牲。談到犧牲，就會牽扯上政治問題，這就不只是單純的學術研究上的問題了。
7. 針對場所的目標防疫，只需要對少數的場所(10%~30%)進行防疫，就可以接近標準的目標防疫結果。因此，相對於標準的目標防疫，這個策略似乎可行性提高了不少。
8. 疫苗主動擴散策略的使用，在預先防疫和第 2 天的時機，擁有接近目標免疫策略的成效。這是因為，解毒疫苗的使用必須透過傳播。而其傳播傾向，節點分支度越大的個體，越早能得到免疫，因此其結果，就類似做目標免疫。然而，也因為疫苗的使用需要依靠傳播，需要時間，所以，在第 2 天之後使用，基本上已失去時效(許多大節點都已經受感染了)，所以其效果排在隨機免疫之後。

9. 然而，基本防疫策略(目標防疫與隨機防疫)的使用，對於防疫個體的選擇沒有限制。這點對於疫苗主動擴散策略受於防毒軟體市占率的限制，顯然不公平。因此，若將市占率提高成 100%(相對於基本防疫策略不受限選擇防疫目標)，疫苗主動擴散策略的成效值就非常的驚人了，如下表所示(表 33)，防疫個體數都只需要是初始防疫個體數即可(10 個)。另外，我們也分析了，初始防疫個數從 5~10 的實驗結果。結果顯示，效果幾乎一樣(圖 52)，但因為初始防疫個數的不同，成效值有相當大的差異(表 34)。不過，為了避免選擇到孤立的節點做防疫，我們還是建議，初始防疫個數不要太少，以 10 個為比較安全。

表 33 疫苗主動擴散策略的成本效益再分析

防疫強度	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
10%	7.67000	0.25382	7.60000	0.25641	6.06000	0.25170	0.78000	0.29548
20%	18.19000	0.60195	17.63000	0.59479	14.16000	0.58814	1.17000	0.44323
30%	28.24000	0.93453	27.90000	0.94128	22.71000	0.94326	2.54000	0.96222
40%	38.87000	1.28630	37.86000	1.27730	31.71000	1.31708	3.27000	1.23876
50%	49.18000	1.62749	47.75000	1.61097	39.93000	1.65850	3.52000	1.33347
60%	59.47000	1.96801	57.92000	1.95408	47.72000	1.98206	6.17000	2.33736
70%	69.70000	2.30654	68.06000	2.29618	58.30000	2.42150	6.13000	2.32221
80%	80.94000	2.67850	78.98000	2.66459	66.32000	2.75461	8.54000	3.23518
90%	96.32000	3.18747	92.15000	3.10892	75.17000	3.12220	8.87000	3.36019
100%	98.03000	3.24405	96.10000	3.24218	79.30000	3.29374	8.86000	3.35640

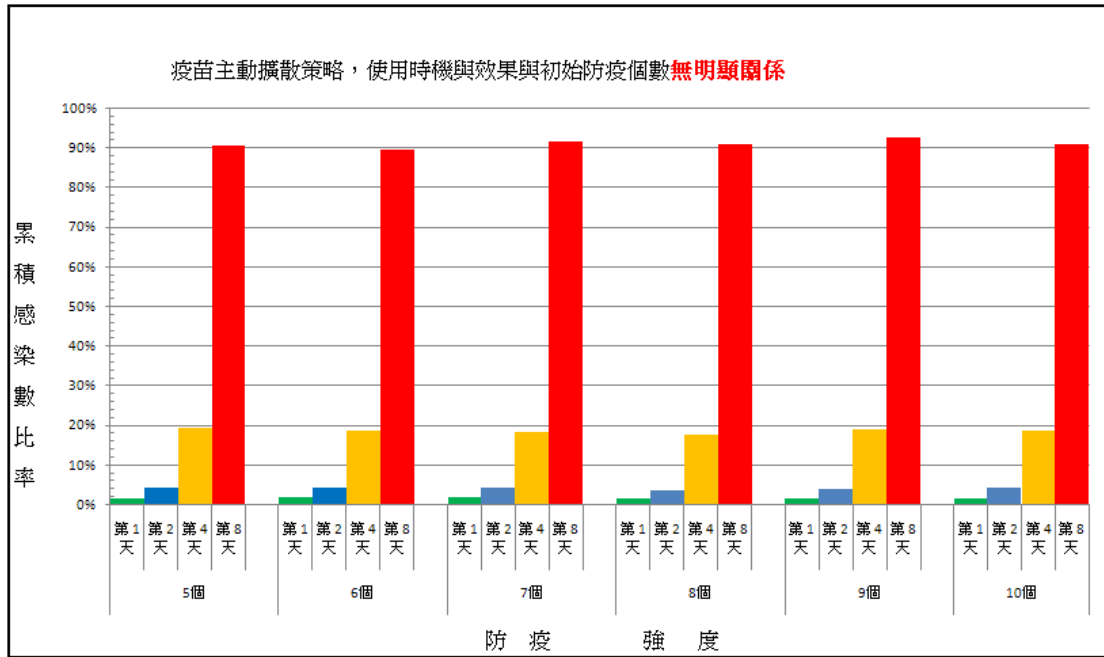


圖 52 使用時機比較圖

表 34 疫苗主動擴散策略的成本效益再分析(2)

初始防疫個數	第 1 天		第 2 天		第 4 天		第 8 天	
	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較	原始成效值	成效值比較
5個	195.90000	1.49870	190.92000	1.49870	160.86000	1.48713	18.90000	1.62477
6個	163.05000	1.24739	158.95000	1.24774	134.85000	1.24667	17.23333	1.48149
7個	139.88571	1.07017	136.08571	1.06826	116.30000	1.07518	11.80000	1.01440
8個	122.50000	0.93717	119.90000	0.94120	102.40000	0.94668	11.25000	0.96712
9個	109.11111	0.83474	106.37778	0.83505	89.61111	0.82845	8.23333	0.70779
10個	98.16000	0.75096	95.41000	0.74896	81.21000	0.75078	9.11000	0.78315

第五章：結論

本研究的主要目標在於，模擬藍牙型手機病毒的傳播動態，與防疫策略的探討。經由建構一個合適的基礎網絡架構(日常生活接觸網絡)，配合電腦模擬的輔助，研究的結果得以視覺化的呈現。本章將歸納研究結論與未來之發展。

5.1 研究結論

研究的結論匯整如下：

1. 本研究，使用二分關聯圖形(網絡)理論，建構人與場所的關係網絡。再使用 Guillaume[27] 的轉換方法，配合黃崇源博士提出的社會分身點概念，成功的建構出(智慧型)手機之藍芽功能的接觸網絡，也就是人類日常生活接觸網絡。此種網絡具有高群聚、低分隔度、與節點分支度呈現密次律分布，符合小世界與無尺度網絡的特性。
2. 使用電腦模擬方式，視覺化的呈現出藍牙類型的手機病毒，對於(開放架構智慧型)手機的(感染)傳播動態。我們發現，病毒的傳播非常快速，與電腦病毒類似。這是因為，病毒的感染，沒有所謂的潛伏期。然而，傳播的方式卻和電腦病毒迥異。電腦病毒的傳播，可以透過網際網絡等媒介，無遠弗屆的感染其它個體。但是，藍牙類型的病毒，必須要短距離的接觸，才能構成感染，這點與人類流行病類似。所以，此類的病毒傳播，並不可以單單使用電腦病毒，或是人類流感的模型來模擬。必須是兩種模型的結合，才能真正顯現出，它具有的特性。本研究首次呈現，一種電腦病毒，但是卻在人類的日常生活接觸網絡中傳播的動態。
3. 分析兩種標準的防疫策略，對於病毒的傳播影響。我們發現，防疫策略

的強度，固然影響效果非常的大。但是，防疫策略的使用時機，才是真正的關鍵。在病毒的傳播高峰期之前，是使用防疫策略的好時機。當然，預先使用防疫策略，可以得到最佳的結果。在病毒傳播高峰期(含)之後，使用防疫策略，基本上是無意義的。這也就是說，有關單位必須時時刻刻保持警戒，否則一不小心就會失去對於病毒的控制，造成重大的災害。

4. 相對於小型網絡，(相同密度下)大型網絡的平均傳播高峰期比較早，高峰值也較大。這是因為，大型網絡較有可能產生出超級場所，容納許多的個體，造成傳播的高峰。因此，防疫單位必須對於大型網絡，採取預先防疫的策略時機，才能有效減少損失。
5. 本研究中，我們提出了一種改良型的目標防疫策略，以場所容納數大小為依據的目標防疫。這種策略擁有僅次於目標防疫策略的結果，而施行對象的選擇，卻相對的簡單的多了。
6. 本研究中，我們更提出了一種新的防疫策略(疫苗主動擴散策略)。這種策略的使用，主要在於模仿病毒的傳播，而用來傳播疫苗。它有者目標免疫的優點(在防毒軟體市占率高時，成效不錯)，同時也具有隨機免疫的優點(無須精心選取防疫的個體，一切隨機)。以成效來比較，它在兩種經典防疫策略之間；以施行的方便性來比較，它與隨機防疫策略依樣方便。因此，綜合起來，這種策略應該頗具有可用度。另外，若能讓不同的防毒軟體，分享疫苗，那麼將有可能大大的提升我們所設定的市占率因素。在排除市占率因素之下，疫苗主動擴散策略則具有非常驚人的成效。

5.2 未來之發展方向

本論文的研究，除了以上結果之外，還可以進一步的使用在別的相關研

究，我們歸納如下：

1. 使用二分關聯圖形(網絡)理論，配合社會身分點概念，最終建立的日常生活接觸網絡，可以符合許多其它的需求。例如人類因接觸性所造成的流行性疾病研究(SARS、流感等等)。
2. 手機病毒的傳播主要分為三大類型，網際網絡、MMS/SMS(透過人際關係網絡)、與藍牙類型(透過日常生活接觸網絡)。前兩種已經有相關研究論文，本研究則補足了藍牙類型病毒的研究。將來的手機病毒，非常可能具有以上三種傳播能力。因此，未來有志之士，將可結合這些研究成果，模擬綜合類型的手機病毒傳播動態。我們可以想像，這種病毒的傳播非常可怕，影響也是毀滅性的。所以其研究更是可以期待。
3. 疫苗主動擴散策略的概念，主要是讓(解毒)防毒疫苗，透過傳播的方式來散佈，因此非常方便。若應用在無關所謂的市占率影響的網絡中，更具有優異的成效值。因此，此種方法，可以安全的使用在任何非關人命的網絡。甚至，或許未來的科技，可以讓人類疾病疫苗，透過簡單的接觸(如，眼神能量傳遞、手掌接觸傳播等等)，完成接種，疫苗主動擴散策略就具有其可用性了。

人類因夢想而偉大！今日本研究使用了前輩們無數的偉大的思想與感動，得到了這些許的結果。期許未來，本研究結果也能替人類文明的進步，有任何的貢獻，就算是一點點，也是值得了。

參 考 文 獻

- [1] <http://www.arimacomm.com.tw/ASP/Epaper/33/pop06.htm>
- [2] <http://news.chinatimes.com/CMoney/News/News-Page/0,4442,content+120609+122008021300633,00.html>
- [3] M. Hypponen, "手機病毒蠢蠢欲動," in *SCIENTIFIC AMERICAN*, vol. 58, 2006, pp. 76-83.
- [4] C. Fleizach, et al., "Can you infect me now?: malware propagation in mobile phone networks," presented at Proceedings of the 2007 ACM workshop on Recurring malcode, Alexandria, Virginia, USA, 2007.
- [5] J. Su, et al., "A preliminary investigation of worm infections in a bluetooth environment," presented at Proceedings of the 4th ACM workshop on Recurring malcode, Alexandria, Virginia, USA, 2006.
- [6] G. Yan, et al., "Bluetooth worm propagation: mobility pattern matters!," presented at Proceedings of the 2nd ACM symposium on Information, computer and communications security, Singapore, 2007.
- [7] R. Axelrod, "Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences," *Simulating Social Phenomena*, pp. 21-40, 1997.
- [8] C. Griffin, R. Brooks, "A Note on the Spread of Worms in Scale-Free Networks," *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS-PART B: CYBERNETICS*, vol. 36, pp. 198-202, 2006.
- [9] M. E. J. Newman, "Spread of epidemic disease on networks," *PHYSICAL REVIEW*, vol. 66, pp. 1-11, 2002.
- [10] M. E. J. Newman, "Models of the Small World," *Statistical Physics*, vol. 101, pp. 819-841, 2000.
- [11] A. L. Barabasi, E. Ravase, and, T. Vicsek, "Deterministic scale-free networks," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, vol. 299, pp. 559-564, 2001.
- [12] C. Y. Huang, "Small-World Epidemiological Modeling and Public Health Policy Assessment: Using the Social Mirror Identity Concept and Local Information for Network-based Epidemic Simulations," in *Department of Computer Science College of Computer Science*, vol. Doctor of Philosophy. Hsinchu: National Chiao Tung University, 2005, pp. 151.
- [13] I. M. Longini, et al., "Containing Pandemic Influenza with Antiviral Agents," *American Journal of Epidemiology*, vol. 159, pp. 623-633, 2004.
- [14]

<http://zh.wikipedia.org/w/index.php?title=%E8%A1%8C%E5%8B%95%E9%9B%BB%E8%A9%B1&variant=zh-tw>

- [15] http://cdnet.stpi.org.tw/techroom/market/eetelecomm_mobile/2008/eetelecomm_mobile_08_006.htm.
- [16] http://cdnet.stpi.org.tw/techroom/market/eetelecomm_mobile/eetelecomm_mobile_062.htm.
- [17] W. Enck, et al., "Exploiting open functionality in SMS-capable cellular networks," presented at Proceedings of the 12th ACM conference on Computer and communications security, Alexandria, VA, USA, 2005.
- [18] G. Yan, S. Eidenbenz, "Bluetooth Worms: Models, Dynamics, and Defense Implications," presented at Proceedings of the 22nd Annual Computer Security Applications Conference, 2006.
- [19] G. Yan, S. Eidenbenz, "Modeling Propagation Dynamics of Bluetooth Worms," presented at 27th International Conference on Distributed Computing Systems, 2007.
- [20] http://cdnet.stpi.org.tw/techroom/market/eetelecomm_mobile/eetelecomm_mobile_169.htm.
- [21] A. R. P. Erdos, "On the evolution of random graphs," *Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci.*, pp. 17-60, 1960.
- [22] S. Milgram, "The small world problem," in *Psychology Today*, 1967, pp. 60-67.
- [23] D. J. Watts, S. H. Strogatz, "Collective dynamics of 'small-world' networks," *Nature*, vol. 393, pp. 440-442, 1998.
- [24] A. L. Barabasi, et al., "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, pp. 509-512, 1999.
- [25] X. F. Wang, G. Chen, "Complex Networks: Small-World, Scale-Free and Beyond," in *IEEE CIRCUITS AND SYSTEMS MAGAZINE*, vol. 3, 2003, pp. 6-20.
- [26] R. K. Merton, "The Matthew Effect in Science," in *Science*, vol. 159, 1968, pp. 56-63.
- [27] J. L. Guillaume, M. Latapy, "Bipartite graphs as models of complex networks," in *Physica A*, vol. 371, 2006, pp. 795-813.
- [28] P. M. Todd, "Searching for the next best mate," 1997.
- [29] M. K. W. O. Kermack, "Contributions to the mathematical theory of epidemics," presented at Proceedings of the Royal Society, London, 1927.

- [30] R. M. M. Roy M. Anderson, "Infectious Diseases in Humans," 1992.
- [31] R. P. Satorras, A. Vespignani, "Immunization of complex networks," in *Phys. Rev.*, vol. 65, 2002, pp. 8.
- [32] R. Cohen, S. Havlin, and, D. B. Avraham, "Efficient Immunization Strategies for Computer Networks and Populations," in *Phys. Rev. Lett.*, vol. 91, 2003, pp. 4.
- [33] "2007 年行政院の靜態人口調查報告,"
<http://www.debas.gov.tw/ct.asp?xItem=15408&CtNode=4594> .

