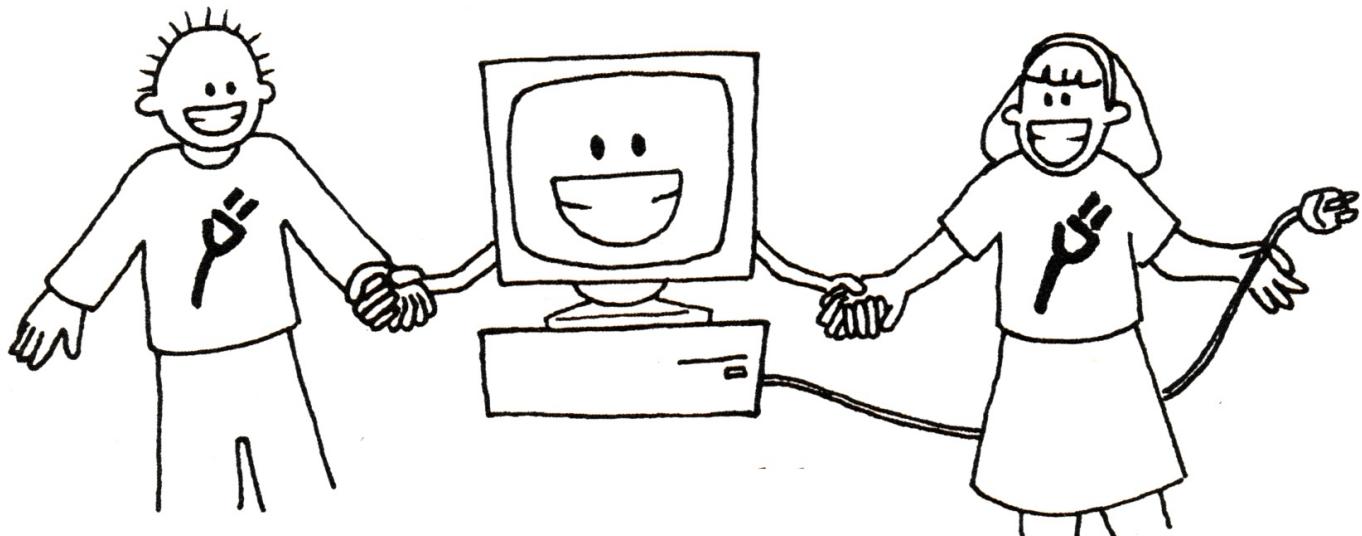


CS

UNPLUGGED



毋插電其資訊科學



原著

Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows

活動設計

Robyn Adams, Jane McKenzie

插畫

Matt Powell

2015 年修訂版

Sam Jarman

中華民國軟體自由協會

編譯

本書紹介

電腦無所不在。我地都要學怎用，而我地之中硬係有人日日用電腦。之不過，電腦係怎道作其㗎？又係怎思考咗？尚有，滴人係怎寫出快速且易用其軟件㗎？資訊科學係個好啲引人其學科，得探索上述滴問題。本書設計畀各年齡層其學生，利用簡單過癮其活動來紹介電腦其道作 — 但完全毋透過電腦！

本書得有效率地道用繫充實同拓展堂程內容，就算繫一般普通其班室裏亦無問題。教師毋需要係電腦專家，亦得同學生一齊學滴主題。本書埋一系列其活動、簡單其背景資料解明、供畀個個問題其解答，兼夾繫每個活動其結尾都有「個活動繫話咩？」講述此活動其相關知識。

大把活動俾數學為基礎，例如探索二進位數字、地圖同圖表、胚騰同排序問題，同埋密碼學。遞滴其部份同相關技術堂程、理解電腦怎用其知識等都有好正其銜接。繫精心設計其內容中，學生得積極其埋份討論，學搞直問題、創造力同埋思維其技能。滴活動亦供畀個勁啲引人其方法，來探索所謂其「道算思維」，呢繫現代教育中經已係毋得或缺其主題。

除着本書之外，「毋插電」計劃尚有大把免費網上資源。繫 csunplugged.org 中得搵到大把其影片、照片同埋額外其補充等等。

跟住 2015 年對本書其校正，我地亦建立着個新網站，有住更加多其資源、更加易攞其開放素材，同埋更加強其資訊科學同道算思維其堂程聯結。

本書其作者係三位資訊科學其講師，同埋兩位學校教師，俾我地現場授堂經驗，尚有廿幾年間數百名教師其回饋所撰寫而成。我地發現許多緊要其觀念得毋使透過電腦來學。事實上，有時電腦係學分心其主因。通常資訊科學其教學多半由程式開始，毋過毋係所有學生都能夠下就上手，因而搞到理解資訊科學過癮部份其一大隔膜。所以請搵走電腦其插頭，令到我地來學資訊科學呢門過癮其學問囉！

事關 Google 公司其慷慨捐贈，供畀本書免費取得。佢俾「創用 CC 姓名標示 - 非商業性 - 同方式分享」(CC BY-NC-SA) 牌照，得免費分享（複製、發行同寄個）本書，亦允許你做修改。上述僅適用繫以下條件：你必須標明作者，毋得用嚮商業用途，若果你改編、轉換或重建本書，必須俾同其牌照條款發佈。牌照條款其細節得去搵：CC BY-NC-SA 3.0。

我地力撐大家繫教育方面用本書，亦歡迎你打印低分送畀學生。有任何問題同建議有意反應畀作者，請到 csunplugged.org。

本書畀翻譯成許多毋同其語言，請到網站上搵搵相關譯本。

致謝

許多孩子同教師幫我地其諗頭更加整煞。繫 South Park School (英國維多利亞地區)、Shirley 小學，Ilam 小學同埋 Westburn 小學 (新西蘭基督城) 其教師同學學生試過滴活動。我地尤其多謝 Linda Picciotto, Karen Able, Bryon Porteous, Paul Cathro, Tracy Harrold, Simone Tanoa, Lorraine Woodfield, 同 Lynn Atkinson 令到我地到佢地其班室參觀，兼供畀活動其建議及精緻化。

Gwenda Bensemman 已試做滴活動，兼供畀修改意見。Richard Lynders 同 Sumant Murugesh 幫埋課室其試驗。部份其加密活動係由 Ken Noblitz 所開發。有滴活動係繫維多利亞 “Mathmania” 集團其幫埋下去，兼得到 Kathy Beveridge 其大力幫手。較早版本其插圖係由 Malcolm Robinson 同 Gail Williams 所繪製，我地亦得益嚮 Hans Knutson 其建議。Matt Powell 繫「毋插電」計劃中供畀許多實質其幫埋。我地勁多謝 Brian Mason Scientific and Technical Trust 繫度書發展其早期供畀大手筆其贊助。

認真多謝 Paul and Ruth Ellen Howard 測試着許多活動，兼供畀大把有幫其建議。Peter Henderson, Bruce McKenzie, Joan Mitchell, Nancy Walker-Mitchell, Gwen Stark, Tony Smith, Tim A. H. Bell¹, Mike Hallett, 同 Harold Thimbleby 亦供畀許多有用其評價。

硬係，我地亦爭着屋企人大把：多謝 Bruce, Fran, Grant, Judith 同 Pam 其頂，同埋 Andrew, Anna, Hannah, Max, Michael² 同 Nikki 罢我地許多啟發。佢地亦周不時係首先接受測試其孩子。

我地認真多謝 Google 公司資助「毋插電」計劃，同埋令到本書能免費取得。

我地歡迎有關活動其評價同埋建議，若要聯繫作者可透過 csunplugged.org。

¹ 同本書作者之一淨係同名同姓啫。

² 事實上，文字壓縮其活動係由 Michael 發明咗。

致謝（繁體漢語版）

本書由起心動念要翻譯到搞直電子書，僅僅四個多月其時間。多謝許多人其勤力奉獻，共同怡手繫好短其時間內搞直翻譯、校稿、編排等工，將成果呈而今大家其眼前。

首先要多謝成功大學資訊工程系其楊中平教授同吳鳳科技大學資訊管理系其邱垂鎮教授，繫得悉筆者有翻譯此書其諗頭時伸出援手，分別指導學生去翻譯、排版等工。

跟住落來要多謝所有埋份翻譯、幫埋排版、供畀資訊其書友。滴書友埋着揀修成功大學資訊工程系楊中平教授所開設「自由軟件開發同社羣發展」堂程其書友，尚有邱垂鎮教授所指導其學生，用上堂時間同期末專題其方式令到本書能就手搞直。所有埋份其書友名單埋：

埋份翻譯者：

王�晋鋒	王郁強	王昶鈞	王韋傑	王冠鈞	平震傑	方鈞麒
毛詩堯	石家瑋	李泓哲	李偉綸	李俊德	呂伯駿	何昕叡
林彥亨	林揚勳	林偉哲	林京樺	周子軒	邱子恆	青光恆
柯欣彤	徐佳筠	翁瑞陽	翁介誠	唐鼎鈞	陳劭傑	陳侑廷
陳昀聖	陳川儒	陳彥安	陳亭翰	張矇晶	張友誠	張瑜真
許家偉	黃承鴻	黃暉程	黃勇霖	郭子瑋	曹雅晴	辜玉雯
曾柏瑄	傅曲誠	雷承勳	蔡孟軒	蔡婷安	廖家妤	鄭宇傑
鄭宇呈	鄭宇昇	鄭耀主	鄭雅桓	劉皓平	賴建江	謝宗諭
謝孟儒	顏志倫	蕭丞志	蘇致翰	Angelina Anggara		

供畀排版軟件資訊：

林偉哲 石家瑋 賴建江

幫埋本書排版：

唐鼎鈞 徐佳筠 陳昀聖 曾柏瑄 翁鈺瑋

翻譯前一版本、供畀用開術語資訊同遞滴幫埋：

洪婉瑄 張茹斐 程宛靚

校稿、插圖漢化：

丁國傑 邱彥銘 翁佳驥 Jason Tsai

另外多謝建國中學林冠廷書友分享紙本書發行之相關經驗。本書電子版將遵照原著所用之 CC BY-NC-SA 牌照，置嚮官方網站 csunplugged.org 供大家取得。紙本書將由中華民國軟體自由協會委託廠商發行。盈餘除一部份回饋嚮原著隊伍同幫埋發行之廠商外，遞滴均由協會用嚮贊助台灣自由軟件社羣活動。盈餘分瀝計會公告嚮協會網站同面書粉絲頁。

漢語粵語版由趙惟倫跟埋繁體漢語版修改而成。

1	第一部份
3	資料：至原始其材料
5	活動 1：計數圓點 — 二進位數字
19	活動 2：用數字表示顏色 — 圖片表示法
29	活動 3：資料宅急便 — 文字壓縮
39	活動 4：卡片翻轉魔術 — 錯誤其發現同修正
49	活動 5：廿個問題 — 資訊理論
59	第二部份
63	活動 6：海戰棋 — 握演算法
83	活動 7：至重同至輕 — 排序演算法
91	活動 8：同時間競賽 — 排序網絡
97	活動 9：泥濘城市 — 至小生成樹
105	活動 10：橙遊戲 — 網絡中其路由同死結
109	活動 11：石板傳送 — 網絡通訊協定
119	第三部份
123	活動 12：尋寶遊戲 — 有限狀態自動機
139	活動 13：做耶其指示 — 程式語言
145	第四部份
149	活動 14：貧窮其製圖師 — 着色問題
163	活動 15：旅遊小鎮 — 支襯集
173	活動 16：冰之路 — 斯坦納樹
187	第五部份
193	活動 17：傳遞機密 — 資訊保密協定
197	活動 18：秘魯式揀硬幣 — 加密協定
209	活動 19：孩子其秘密 — 公開密碼匙加密系統
221	第六部份
225	活動 20：朱古力工廠 — 人性化界面設計
239	活動 21：同電腦其對話 — 圖靈測試

第一部份

資料：至原始其材料－怎表達資訊

資料：至原始其材料

繫電腦中怎保存資訊嘎？

「電腦」個詞其英文係 computer，係由拉丁文其 “computare” 演變而來，表示計數或將數字加埋。毋過今天其電腦經已毋淨係個巨型其計數機嘞。佢得係間拉記，幫我地寫文件或搵資料、播放音樂或電影等等。恁電腦係怎保存滴資訊其㗎？信毋信由你，查實電腦祇用着兩個耶：0 同 1！

「資料」同「資訊」其爭別繫焉度嘎？

「資料」淨係原始其材料，亦即係電腦處理其符號。電腦得將資料轉換為你同我得懂得其「資訊」(例如文字、數字同圖片等)。

恁數字、字母、文字同圖片等要怎轉換為 0 同 1 呢？

繫呢幾個活動中，我地會學到有關二進位數其知識、電腦怎畫圖、傳真機怎造作等等。滴都係保存一大堆資料好有效其方法。此外尚有怎避免錯誤其發生，同埋怎測量保存其資訊量。



活動 1

計數圓點 — 二進位數字

活動摘要

繫電腦上其資料係俾一連串 0 同 1 其形式去保存同傳送。我地要怎祇用呢兩個符號來表示文字同數字㗎？

堂程銜接

- 數學：數字 - 研究怎將數字用遞滴基底表示。學用 2 做基底表示數字，亦即係二進位數。
- 數學：代數 - 繼續一序列其排列，兼斟個排列其規則，尚有佢同 2 其次方之間其關係。

習得技能

- 計數
- 比對
- 序列

適恰年齡

- 6 歲以上

所需素材

- 你需要用一組五張卡片（見第 6 頁）來展示。
- 你得做成 A4 大細，上面貼笑面圓點其卡片。效果毋錯。

每名學生需要

- 一套卡片。你得影印第 9 頁「素材：二進位數字」其內容，貼繫卡片上，跟住剪切來。
- 活動學單：二進位數字（第 8 頁）

另外冇滴可揀用其延伸活動。滴延伸活動中每名學生需要：

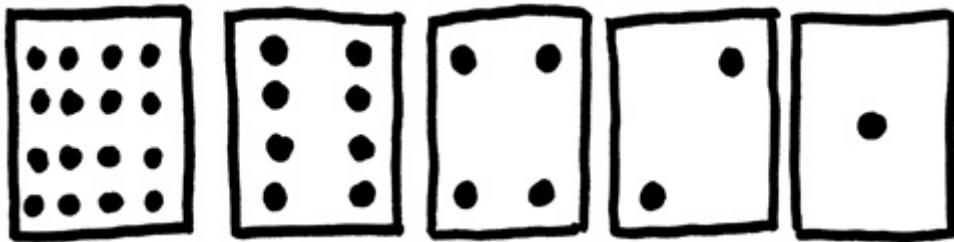
- 活動學單：用二進位表示數字（第 10 頁）
- 活動學單：寄個秘密口訊（第 11 頁）
- 活動學單：電子郵件同數據機（第 12 頁）
- 活動學單：數到 31 以上（第 13 頁）
- 活動學單：更加多有關二進位數字其知識（第 14 頁）

二進位數字

活動紹介

繫發出本頁其學單之前，得先展示一次畀咗班睇。

繫度活動中，你將需要一套五張卡片，如下圖所示。卡片其中一面有圓點，而另一面無。揀 5 名學生拎起示範卡片，站繫咗班面前。卡片該要照下面其順序排列：



活動討論

當你繫發卡片時（由右到左），睇下學生有無得估出遞張卡片上有幾多個點。請大家留意下，卡片上其圓點數量有無咩特性嘅？（每張卡上其圓點數量都係右邊卡片其兩倍）

若果再加一張牌放繫左邊，恁那張卡片該要有幾多圓點嘅？（32）再遞張㗎？（64）

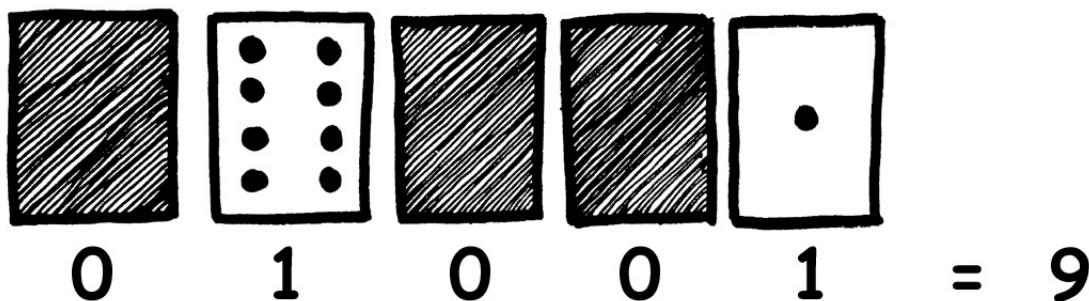
我地得用滴卡片表示許多毋同其數字，祇要將滴卡片翻面弇起來，兼將所有沒遮住其點數加埋。請學生嘗試展示 6 點（翻開 4 點其同 2 點其卡片），跟住落來試下怎表示 15 點（翻開 8 點、4 點，2 點同 1 點其卡片），跟住試過試怎表示 21 點（翻開 16，4 同 1 點其卡片）…… 等等。惟一要留意其規則係，卡片要嘛就整張翻開來，毋然就整張弇起來，毋能祇弇一半。

呢五張卡片能表示其至小數目係幾多啊？（學生似會答 1，但恰路答案係 0）。

而今嘗試由零開始上數。

呢堂堂中剩低其部份，即係要請學生密切留意卡片變化其情形，兼落實學生係勿繫翻牌同弇牌其過程中能夠發現特定其規則（每張卡片畀翻轉其次數，係右邊那張牌其一半）。你得繫毋同其班級中嘗試睇下。

當某張卡片畀弇起來時，用 0 來表示；當佢畀翻出埋時，用 1 來表示。呢即係二進位數。



令到學生試下 $01001 \circ 01001$ 其十進位係麼數字嘅？ (9) 17 其二進位數係咩？ (10001)
試多幾次，直到學生能理解個概念為止。

另外有五個可揀用其延伸活動，得用嚮加強學生其觀念。繫時間允許其範圍內，請盡量令到學生去去。

活動學單：二進位數字

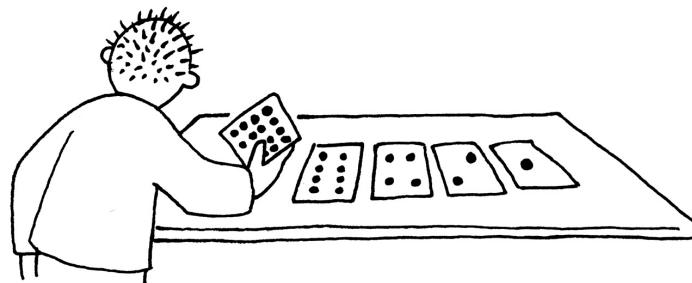
學識數數字

你認為你會數數字啊？令到我地試下新淨方法囉！

你知電腦中祇用着 0 同 1 啊？查實任何你由電腦中睇到或聽到其耶 — 埋文字、圖片、數字、影片甚至聲音都係由 0 同 1 組恰而成其！跟住落來其活動內容將教你怎用同電腦同其方法傳送一樞秘密口訊畀你其友記。

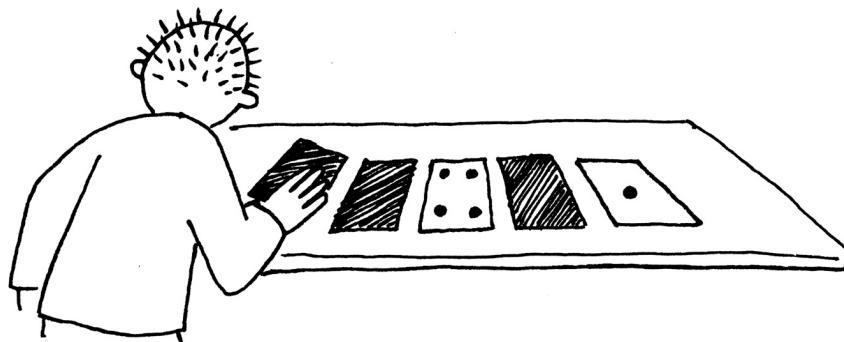
步驟解明

由你其學單上剪切卡片，跟住將佢照順序放繫枱上。點數為 16 其卡片必須放繫至左邊，如圖所示：



落實下你排放其順序要同圖片中其同。

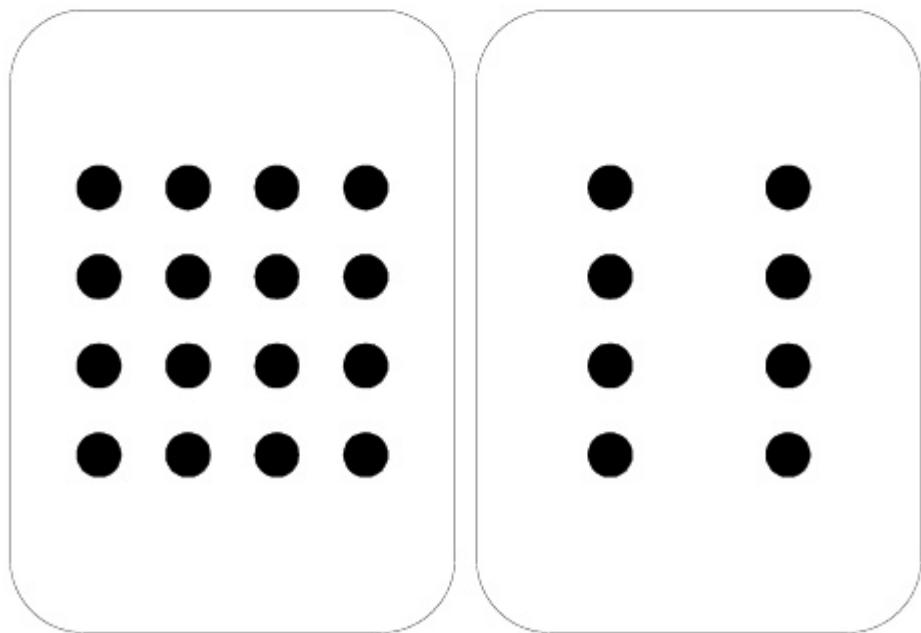
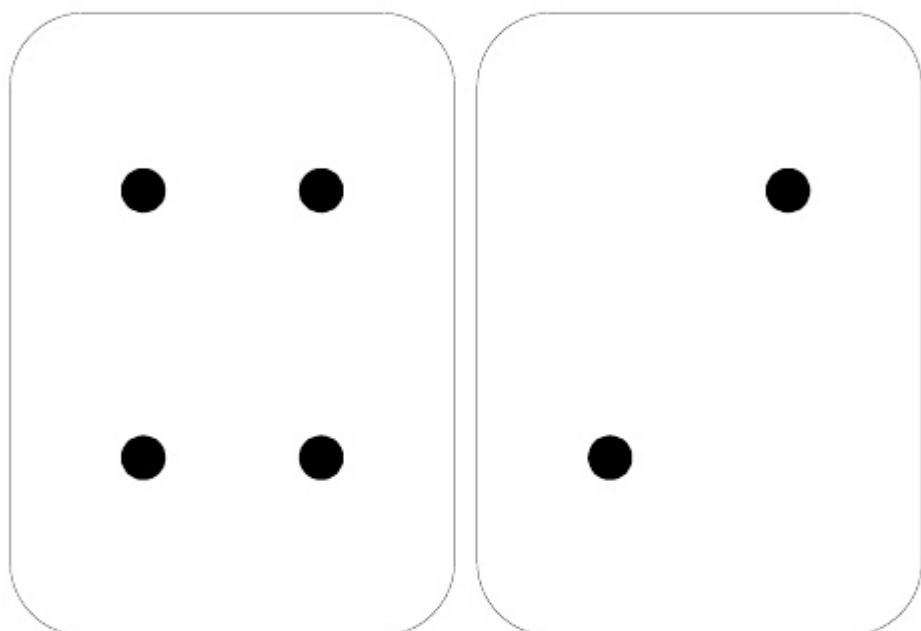
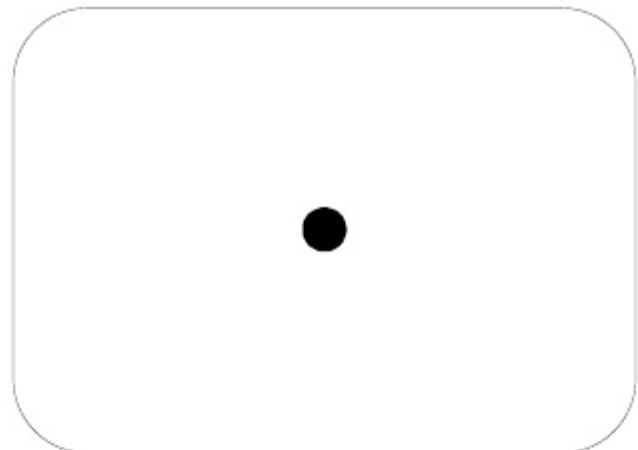
而今將滴卡片翻到背面，令到剩低其點數總同為 5 — 留意毋得俾令到卡片其順序改變哦！



跟住去試下睇怎敢令到剩低其點數總同為 3、12、19。係勿有遞滴其方法得表達同其數字㗎？你所能睇到，大煞其點數總同為幾多㗎？至小其點數總同又係幾多㗎？繫大煞同至小其點數之中，有無其數字係你無法用滴點數其總同表達其㗎？

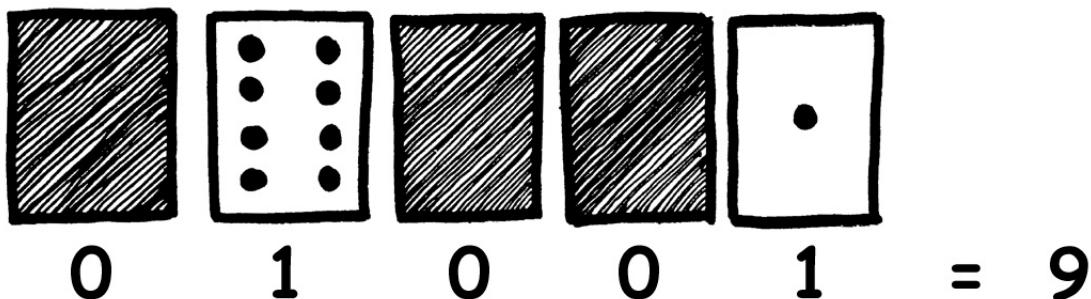
効人挑戰：嘗試按照順序用卡片表達 1、2、3、4。
你有無得搵出個有規律其方法得令到數字不留加 1 呢？

素材：二進位數字



活動學單：用二進位表示數字

二進位數字即係用 0 或 1 來表示點數卡片係點數面朝上或朝下。0 代表點數面朝下，1 代表點數面朝上。例如：



你得算出 10101 係幾多個點啊？11111 嘍？

你其出世日期係幾號㗎？嘗試用二進位數字表達。跟住嘗試用二進位數字來表示你友記其生日。

嘗試用二進位數字表達滴符號：

$$\boxed{\times} \boxed{\checkmark} \boxed{\times} \boxed{\times} \boxed{\checkmark} = \\ (\checkmark=1, \times=0)$$

$$\uparrow \downarrow \uparrow = \\ (\uparrow=1, \downarrow=0)$$

$$\uparrow \downarrow \uparrow = \\ (\uparrow=1, \downarrow=0)$$

$$+ + \times + = \\ (+=1, \times=0)$$

$$\odot \odot \odot \odot \odot = \\ (\odot=1, \odot=0)$$

$$\cup \cup \cup \cup \cup = \\ (\cup=1, \cup=0)$$

$$\square \square = \\ (\square=1, \square=0)$$

$$\blacktriangle \blacktriangledown \blacktriangle \blacktriangledown = \\ (\blacktriangle=1, \blacktriangledown=0)$$

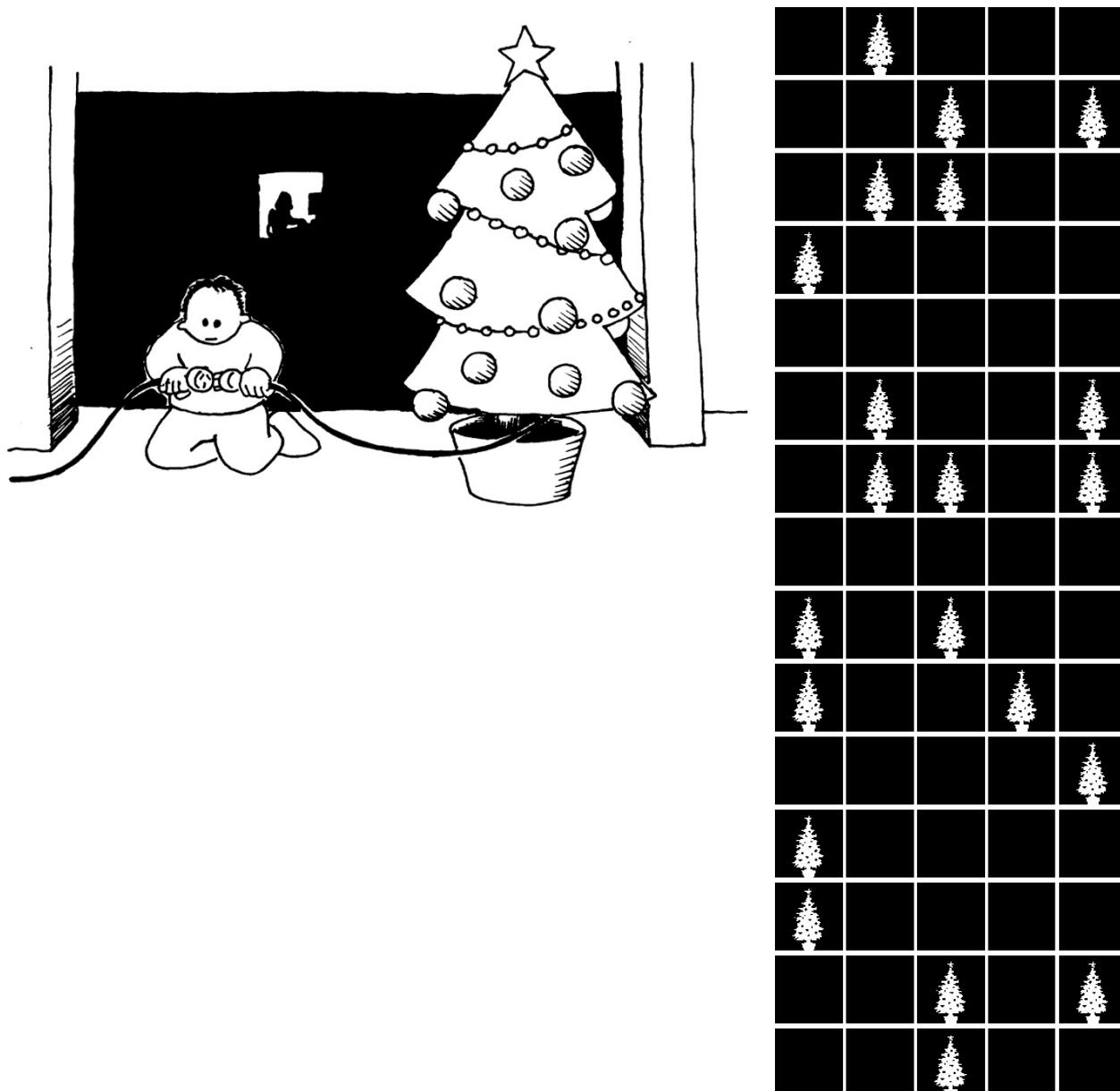
$$\odot \odot = \\ (\odot=1, \odot=0)$$

$$\spadesuit \spadesuit \spadesuit \spadesuit \spadesuit = \\ (\spadesuit=1, \clubsuit=0)$$

伶人挑戰：用長度分別為 1、2、4、8、16 其棍子來組恰出長度為 0 到 31 其棍子。你亦得利用個天平配搭少量其砝碼來秤出好重其耶（例如櫃子或行李箱）。返去試下睇，令到大人驚訝下！

活動學單：傳送秘密口訊

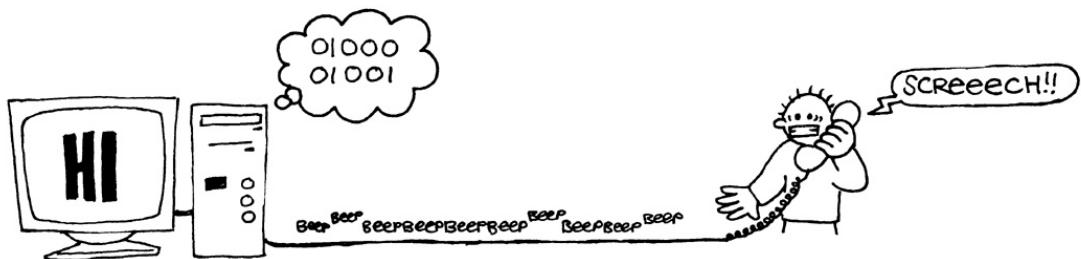
阿湯哥畀困繫百貨公司其至上層喇！聖誕節就就來到嘞，佢諗拎住佢其禮物返屋企。佢該怎算嘎？阿湯哥試過大聲求救，但左近根本無人。毋過佢得睇到對街有滴電腦工程師深夜裏還繫工。佢該怎引起佢地其留意㗎？阿湯哥睇着下四周，跟住靈光一現—佢得用聖誕樹上面其燈傳送口訊畀對街正係工其太！佢搵到着冚燈泡，跟住插上電源，敢佢已得掣滴燈泡。佢擬着一份簡單其二進位代碼，直煞對街其太得懂佢意思。你能幫佢啊？



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z

活動學單：電子郵件同數據機

電腦亦係用二進位系統去網絡連綫同傳送口訊。惟一毋同其係，電腦係用嗶聲來分別。高頻率其嗶聲代表 1，低頻率其嗶聲代表 0。滴聲音其傳遞勁快速—事實上，我地所能聽到其惟有連續又惱人其噪音啫。若果你由來都無聽過，遞次得嘗試聽睇下數據機去網絡連綫其聲音。定抑，試下睇打通電話到一支傳真機—傳真機亦係透過數據機來傳遞口訊。



利用同阿湯哥繫百貨公司所用其同代碼，嘗試傳一封電子郵件畀你其友記。記得要用簡單少少其口訊，因為你同你其友記可無計像數據機敢處理得恁快！



活動學單：數到 31 以上

睇下你做其二進位數卡片。若果要做遞張，恁上面該要有幾個點㗎？再遞張㗎？佢地之間其規則係咩？如你所睇到其，就算諗表示好大其數字，亦祇需要少少其幾張卡片啫。

若果你幼心其觀察滴規則，你得發現勁過癮其規律：

1, 2, 4, 8, 16,

試下 $1 + 2 + 4 = ?$ 答案係咩？

試過試 $1 + 2 + 4 + 8 = ?$

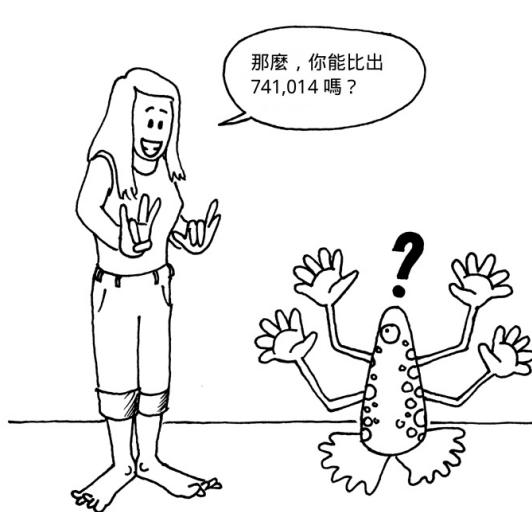
當你由第個數字開始，將冚數字加埋，你發現着咩？

學識着二進位數字，你而今得用你其手指來數數字，兼夾你會發現，你能數其數字遠遠地超過 10 一等等，你話你惟有十根手指頭嘎？沒錯！你得用二進位來表示數字，用手指頭來代幫每一張卡片。你毋使搞到外星人同，已得由 0 數到 31，敢就有 32 個數字着（勿毋記得，0 亦係個數字喎！）。

嘗試動動你其手指頭，手指頭上表示 1，向下表示 0。

實際上，若你用兩隻手，得表示由 $0 \sim 1023$ 其每個數字，敢總共就有 1024 個數字喇！

若果你有得彎曲成大把段其手指頭（欸，敢你就真係得搞到外星人喇！），那就能夠數更加多其數字。若果一隻手得表示 32 個數字，兩隻手能就有 $32 \times 32 = 1024$ 個數字。恁請問圖上其外星人得數其大煞數字係幾多㗎？



活動學單：更加多有關二進位數字其知識

1. 另個有關二進位過癮其性質，係當我地將個 0 放到個二進位數字其右邊箇陣。諺下，過去我地繫學十進位數字時，當我地將個 0 放到個數字右邊，就等嚮將箇個數字乘上 10。舉例來話，9 會搞到 90，而 30 會搞到 300。

但繫二進位數字其世界中，當我地將 0 放到個二進位數字其右邊會發生麼事㗎？試下睇：

$$\begin{array}{c} 1001 \quad 10010 \\ (9) \qquad (?) \end{array}$$

試多幾個遞滴數字來證明你其估諺。規則係咩？你認為發生着麼事嘍？

2. 我地而今用其每一張卡片，是但代表電腦入面其個「位元」（「位元」其英文 bit 即係「二進位數字」英文 binary digit 其簡稱）。所以而今我地用其字母得用 5 張卡片來表示，定係話 5 個「位元」。然而電腦必須知個字母係大寫都係小寫，都係數字、標點符號定係像 \$ 或 ~ 呢種特意符號。

睇下你其鍵盤，數數睇電腦總共有幾個字符要表示；算算睇電腦總共需要幾個位元，來保存冚字符㗎？

現代其電腦都用「美國資訊交換標準代碼」（American Standard Code for Information Interchange，又稱為 ASCII 碼）來表示每個字符，但繫滴毋話英文其國家，則必須用更加長其編碼。

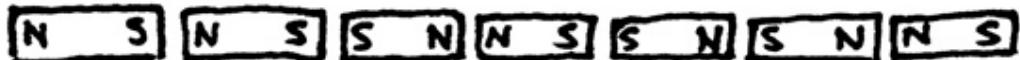


個活動繫話咩？

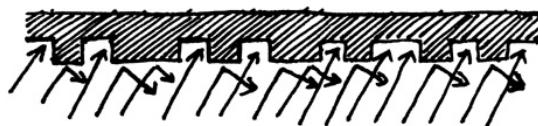
而今其電腦用二進位系統來表示資訊，之所以畀稱為二進位係因為佢祇用兩個數字。呢種二進位數又稱為「俾 2 為基底」其數字系統（我地一般用其係「俾 10 為基底」其數字系統）。個個 0 或 1 畝稱為個「位元」。個位元繫電腦其主記憶體中，通用開一顆電晶體其開或關，定係用一顆電容係勿叉電來表示。



當我地要利用電話綫定係無綫電來傳輸資料時，會利用高頻或低頻其波動來表示 1 同 0。繫磁碟（軟碟同硬碟）尚有磁帶上，則係會利用表面其磁場路向來表示 0 同 1，好似北往南或南往北。



各類光碟片則係利用光學方式來保存位元 — 利用表面係勿反射光線來表示。



電腦之所以祇用兩個毋同其數值，係因為就係敢，要做個設備就簡單多嘞。我地硬係得做個擁有 10 種毋同反射程度其光碟片來表示 0 到 9 其數字，但敢必須用好精確兼夾昂貴其設備先行。

除此之外你亦許留意到另外一件耶：雖然我地話電腦祇保存 0 同 1，但查實兼毋係真係有 0 同 1 繫電腦入面 — 惟有好似高電位同低電位、南極同北極等等。但比起話係「閃」都係「毋閃」，寫 0 同 1 都係快多嘞。所有繫電腦裏其耶都係用位元表示 — 文件、圖片、歌曲、影片、數字，甚至程式或手提電話上其應用軟件，冚不論都淨係一大堆其位元。

個位元自己毋能表達出多得滯其耶，但當八個位元聚集繫一起，已得表達由 0 到 255 其數字，而我地通常會將 8 個位元稱做個「位元組」(byte)。

電腦其速度指標之一係次得處理幾個位元。舉例來話，個 64 位元其電腦繫一次操作中得處理 64 個位元；但 32 位元電腦則必須將 64 位元其數字分成兩個 32 位元，就係敢速度慢多着（但平過佢！）

跟住落來其活動中，我地會睇到電腦怎用位元來表達遞滴種類其資訊。

解答同貼士

二進位數字（第 8 頁）

3 需要卡片 2 同 1

12 需要卡片 8 同 4

19 需要卡片 16、2 同 1

你得表示出大煞其數字係 31，至小則係 0。你得將 0-31 間其所有數字都表達出埋，兼夾個個數字惟有一種表達方式。

令人挑戰：要將任何個數字加 1，祇要由右到左翻卡片，直到有一張卡片由點數向下翻成上。

用二進位表示數字（第 10 頁）

$10101 = 21, 11111 = 31$

傳送秘密口訊（第 11 頁）

口訊內容：HELP IM TRAPPED

數到 31 以上（第 13 頁）

若果你由頭開始効加，効加其同必定係數列裏遞個數字減一。

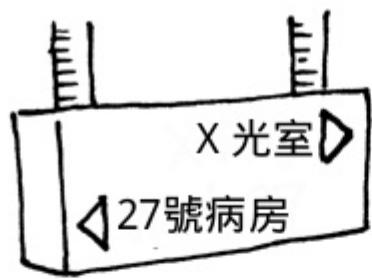
外星人得數 $1024 * 1024 = 1048576$ 個數字 — 亦即係由 0 到 1048575。

更加多有關二進位數字其知識（第 14 頁）

當你將個 0 放到個二進位數字右邊，會令到箇個數字搞到兩倍。

所有係 1 其掂而今搞到着原來其兩倍，令到總同其數字搞到着兩倍（繫十進位系統中，我地將個 0 放到某個數字其右邊，就會令到箇個數字搞到 10 倍。）

電腦需要 7 個位元來保存冚英數字符，而 7 個位元總共得表示 128 個字符。通常電腦會俾 8 個位元併埋成個位元組，而其中 1 個位元無用嚮表示字符。



危險動作，請勿模仿！
薯叔有練過的，不是
每個人腳趾都能這樣
彎的喔！

活動 2

用數字表示顏色 — 圖片表示法

活動摘要

電腦祇用數字來保存圖畫、相片同遞滴圖片。以下其活動將展示電腦係怎搞咋。

堂程銜接

- 數學：幾何 — 形狀同空間：祇用數字來表示遞滴種類其資料
- 技術：減少重複資料所用其空間

習得技能

- 計數
- 繪圖

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

- 投影片展示：用數字表示顏色（第 21 頁）

每名學生需要

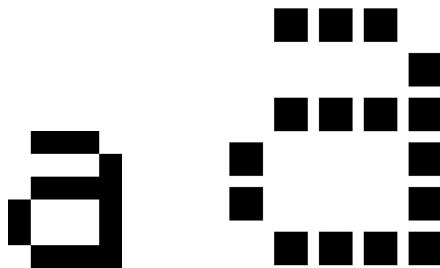
- 活動學單：孩子其傳真（第 23 頁）
- 活動學單：做出自己其圖片（第 24 頁）

用數字表示顏色

問題討論

1. 傳真機係用來做乜咋？
2. 繫麼情況下電腦會需要保存圖片㗎？（例如繪圖程式、埋圖形其遊戲、或多媒體系統等等）
3. 該怎令到祇能夠用數字其電腦保存圖片㗎？
(你得安排學生寄個或接收傳真做為呢項活動其準備)

用投影展示：



電腦熒幕畀斬開成許多其小格子，稱為像素（圖片元素）。

繫黑白其畫面下，個個像素毋係黑色即係白色。

上面其字母 “a” 已畀放大來顯示像素。當電腦保存圖片時，佢要保存其即係焉滴像素係黑其，焉滴像素係白咋。

	■	■	■	
				■
	■	■	■	■
■				■
■				■
	■	■	■	■

1, 3, 1
4, 1
1, 4
0, 1, 3, 1
0, 1, 3, 1
1, 4

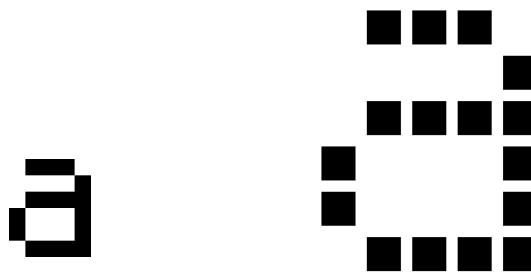
上面其圖片解明着一張圖片怎用數字來表示。

第一列由個白色像素，三個黑色像素，再個白色像素所組成。
就係敢，第一列畀表示為 1, 3, 1。

第個冇巴必須係白色像素其數目。若果第個像素係黑其，那該列會由 0 開始。

第 23 頁其學單供畀着滴圖片。學生得用恰恰展示其方法來解碼。

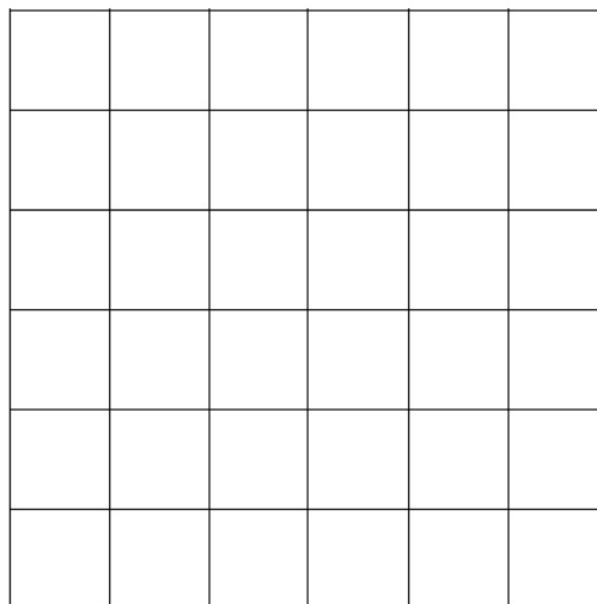
用數字表示顏色



▲ 由電腦熒幕上其字母 “a” 同其放大圖示，
得悉該圖片係由像素所構成

		■	■	■		1, 3, 1
					■	4, 1
		■	■	■	■	1, 4
■					■	0, 1, 3, 1
■					■	0, 1, 3, 1
	■	■	■	■	■	1, 4

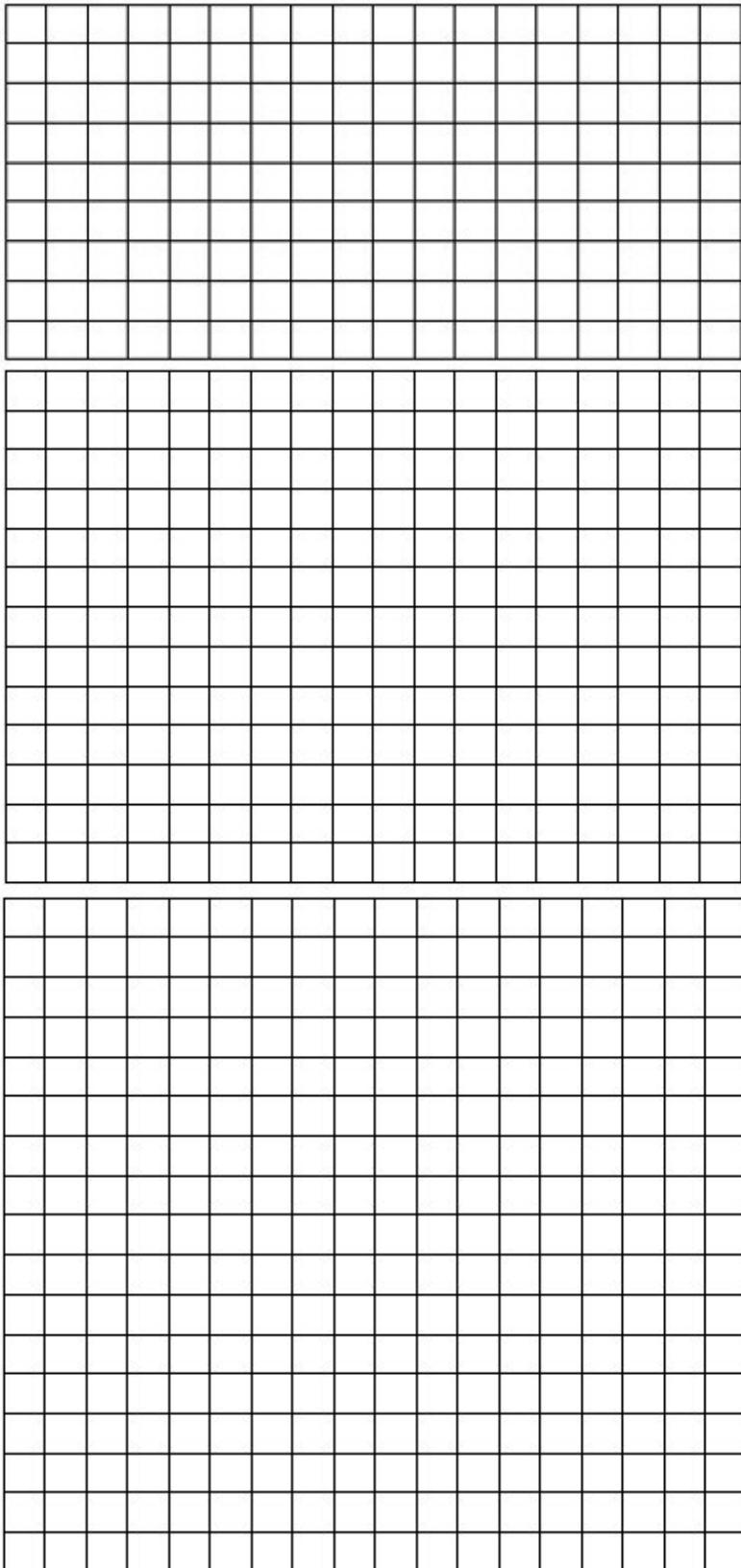
▲ 用數字為同樣其圖片編碼



▲ 空白網格（教學用）

活動學單：孩子其傳真

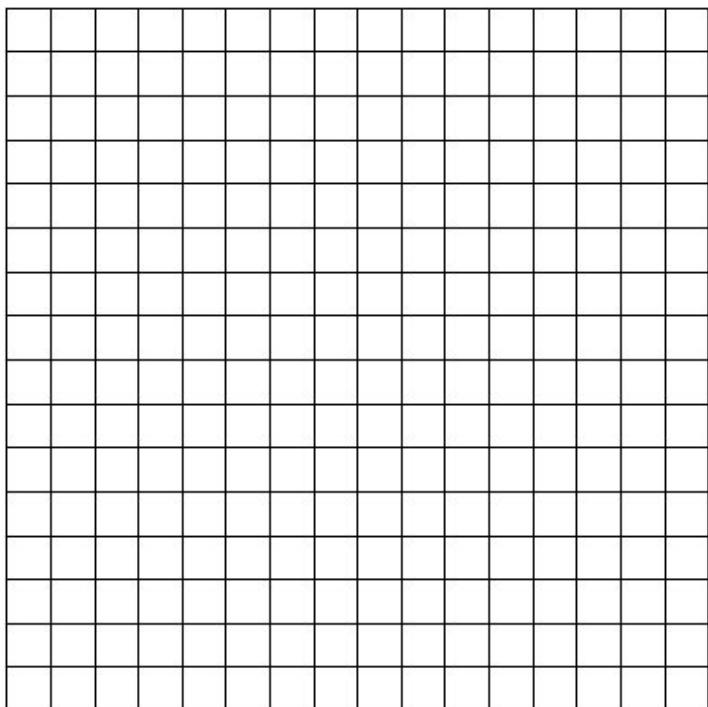
第一張圖係至簡單其，最後一張圖則係至複雜咗。因為好易畫錯，就係敢建議用鉛筆畫，兼準備好擦膠。



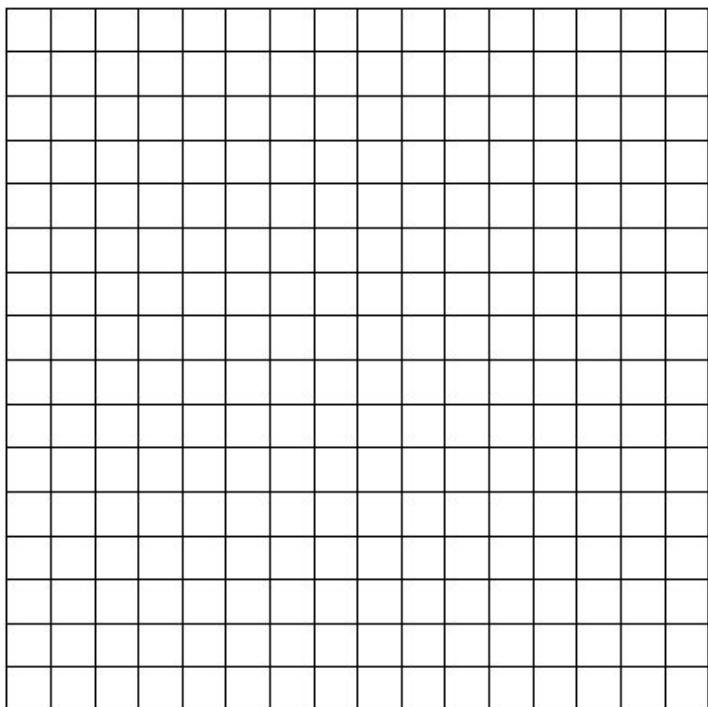
4, 11
4, 9, 2, 1
4, 9, 2, 1
4, 11
4, 9
4, 9
5, 7
0, 17
1, 15
6, 5, 2, 3
4, 2, 5, 2, 3, 1
3, 1, 9, 1, 2, 1
3, 1, 9, 1, 1, 1
2, 1, 11, 1
2, 1, 10, 2
2, 1, 9, 1, 1, 1
2, 1, 8, 1, 2, 1
2, 1, 7, 1, 3, 1
1, 1, 1, 1, 4, 2, 3, 1
0, 1, 2, 1, 2, 2, 5, 1
0, 1, 3, 2, 5, 2
1, 3, 2, 5
6, 2, 2, 2
5, 1, 2, 2, 2, 1
6, 6
4, 2, 6, 2
3, 1, 10, 1
2, 1, 12, 1
2, 1, 3, 1, 4, 1, 3, 1
1, 2, 12, 2
0, 1, 16, 1
0, 1, 6, 1, 2, 1, 6, 1
0, 1, 7, 2, 7, 1
1, 1, 14, 1
2, 1, 12, 1
2, 1, 5, 2, 5, 1
3, 1, 10, 1
4, 2, 6, 2
6, 6

活動學單：做出自己其圖片

而今你知着怎用數字來表示圖片，要毋好來試下睇，整自己其編碼圖片畀友記嘎？繫上方其網格中畫一張圖，當你搞直後，繫下方網格中寫低對應其編碼。沿住虛線剪切下方其網格，兼交畀你其友記請佢恢復你其圖片。（留意：你兼毋需要將成個網格用煞盡。若果你其圖片兼無用到某列網格，就繫下方留低空白列即可。）

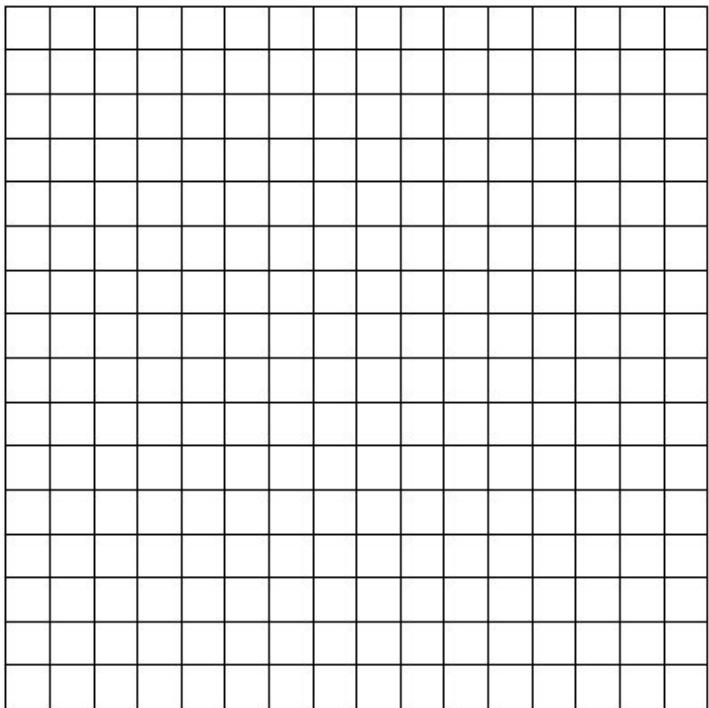


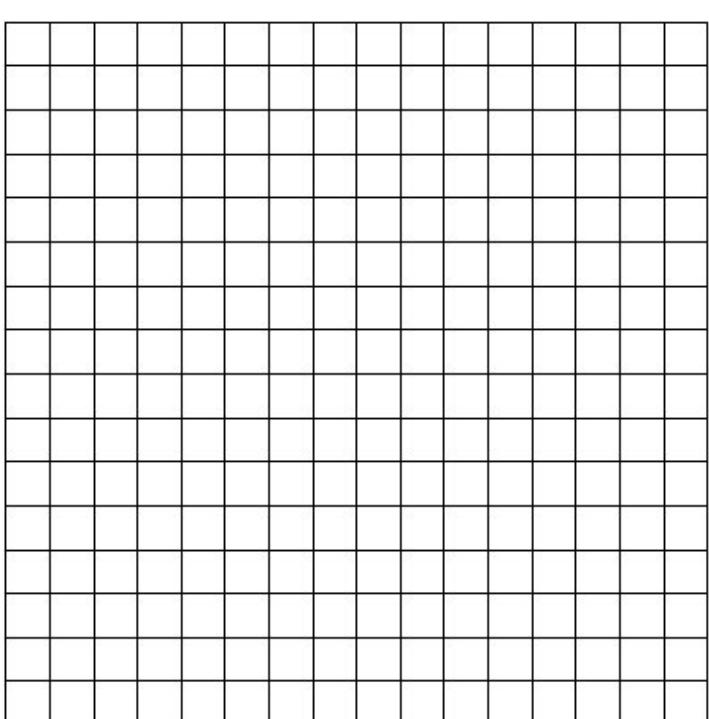
六



活動學單：做出自己其圖片

力人挑戰：若果你諗整顏色圖畫，得用個數字代表一種顏色（例如 0 代表黑色，1 代表紅色，2 代表綠色等等）。之不過，敢就需要用到兩個數字來表示一系列像素着：第個數字同往時同代表長度；而第二個數字則用來標示顏色。試下睇做張顏色圖片男友記囉！勿毋記得令到友記知個個數字所代表其顏色喎！





活動變化同延伸

1. 得嘗試利用素描紙疊繫網格上先畫一次，係取得睇到無框綫其圖形，會更加易睇真。
2. 除着繫網格中着色外，亦得令到學生用貼紙，定係繫大少少其格子中擺放物品來幫代。

活動討論

通常一系列像素其長度係有限制其，因為長度係俾二進位數字表示。若果能表示出其數字大煞祇到 7，你要怎表示一串 12 像素其黑色㗎？（有個好方法係先表示出 7 個黑色像素，之後跟住個長度為 0 其白色像素，再跟住表示 5 個黑色像素。）

個活動繫話咩？

傳真機實際上就淨係一部簡單其電腦，掃描黑白頁面成約莫 1000×2000 像素，兼用數據機傳輸畀另一台傳真機，最後將像素印繫紙上。傳真係圖片好多時有住部份空白（邊緣）或黑色像素（垂直其綫）。顏色圖片亦會有許多重複部份。貪慳返保存空間，開發人員會用大把種壓縮技術。而繫呢活動中用其方法稱為變動長度編碼法（RLE，run-length encoding，又稱為遊程編碼），係種有效其壓縮圖片方式。若果我地毋壓縮圖片，那似會花大把其時間來傳送圖片，兼夾亦需要更加多保存空間，敢會令到傳真或將圖放繫網絡上變得成本太高而毋得行。舉例來話，傳真圖片通常畀壓縮至原本大細其七分之一上下。即係話，若果毋壓縮，光係傳輸就會多出七倍其時間！

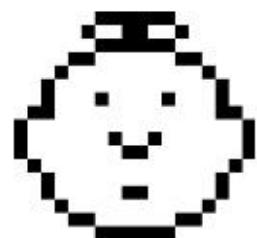
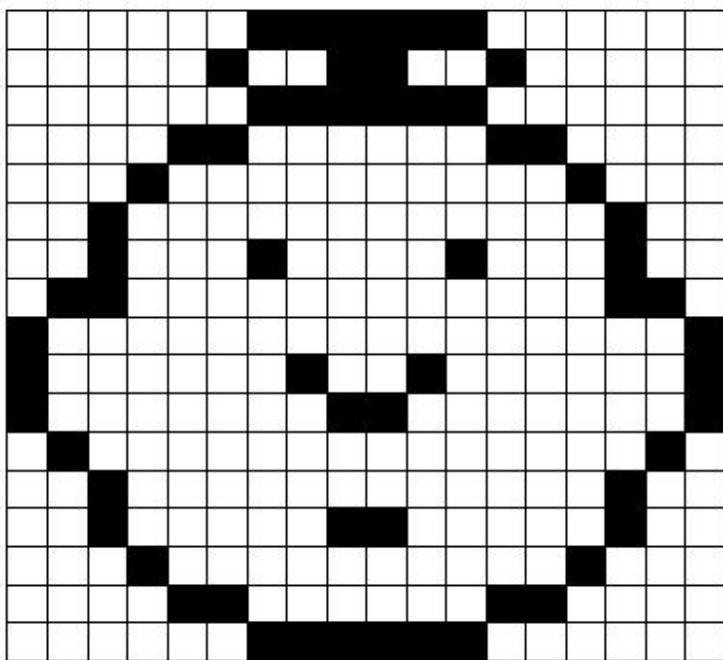
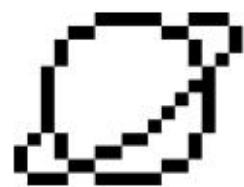
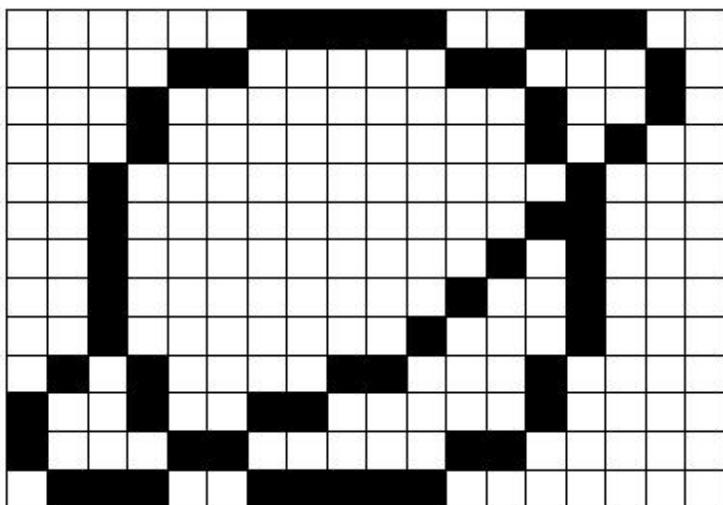
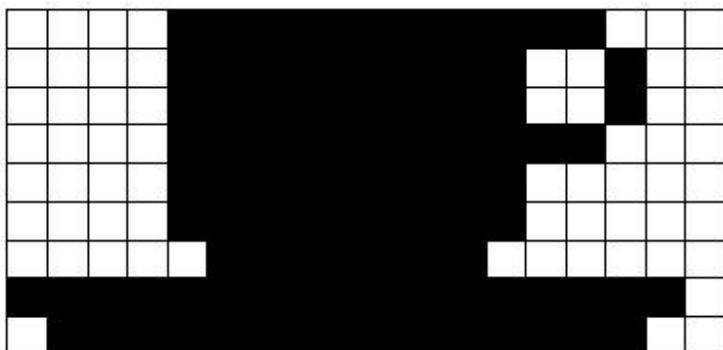
相片或圖片常畀壓縮至原本大細其真係之一或甚至百分之一（用好似 JPEG、GIF 或 PNG 等技術）。就係敢就能夠繫磁碟中保存更加多圖片，而呢亦表示繫網站瀏覽圖片時得花更加少其時間。

開發人員得根據有意傳輸其圖片揀至適恰其壓縮技術。



解答同貼士

活動學單「孩子其傳真」其解答



活動 3

資料宅急便 — 文字壓縮

活動摘要

因為電腦得保存資訊其空間有限，所以要儘似用有效率其方法來呈現資訊。呢就嗌做壓縮。藉由對資料做編碼，跟住繫取出資料時去解碼其方式，電腦得保存更加多資料，定係更加快地繫網絡傳遞資料。

堂程銜接

- 英文：辨認出單字同文字其胚騰
- 科技：利用重複其資料來減少用其空間

習得技能

- 複製寫低其文字

適恰年齡

- 9 歲以上

所需素材

- 投影片展示：資料宅急便（第 32 頁）

每名學生需要

- 活動學單：資料宅急便（第 33 頁）
- 活動學單：𢂚人挑戰（第 34 頁）
- 活動學單：小試身手（第 35 頁）
- 活動學單：畀𢂚人𢂚人高𢂚人其大挑戰（第 36 頁）

資料宅急便

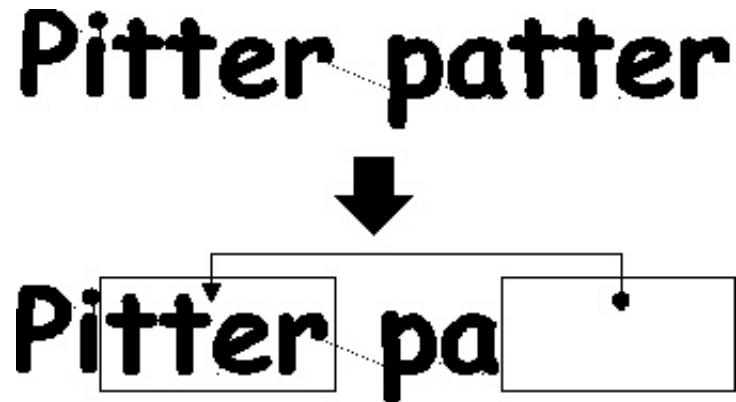
活動紹介

電腦必須保存同傳輸大把資料。貪毋佔用多得滯保存空間，或花多得滯時間繫網絡上傳送資料，電腦需要像敢壓縮文字。

展示同討論

畀學生睇「雨」呢首詩（第 32 頁）。搵搵睇繫呢首詩中字母其特定胚騰。

問學生係勿能搵到同樣字母、同樣其單字或甚至同樣其片語重複浮頭兩次以上其掂嘎？（搵到俾後，像下圖敢用框框將佢框起來。）



The Rain

Pitter patter

Pitter patter

Listen to the rain

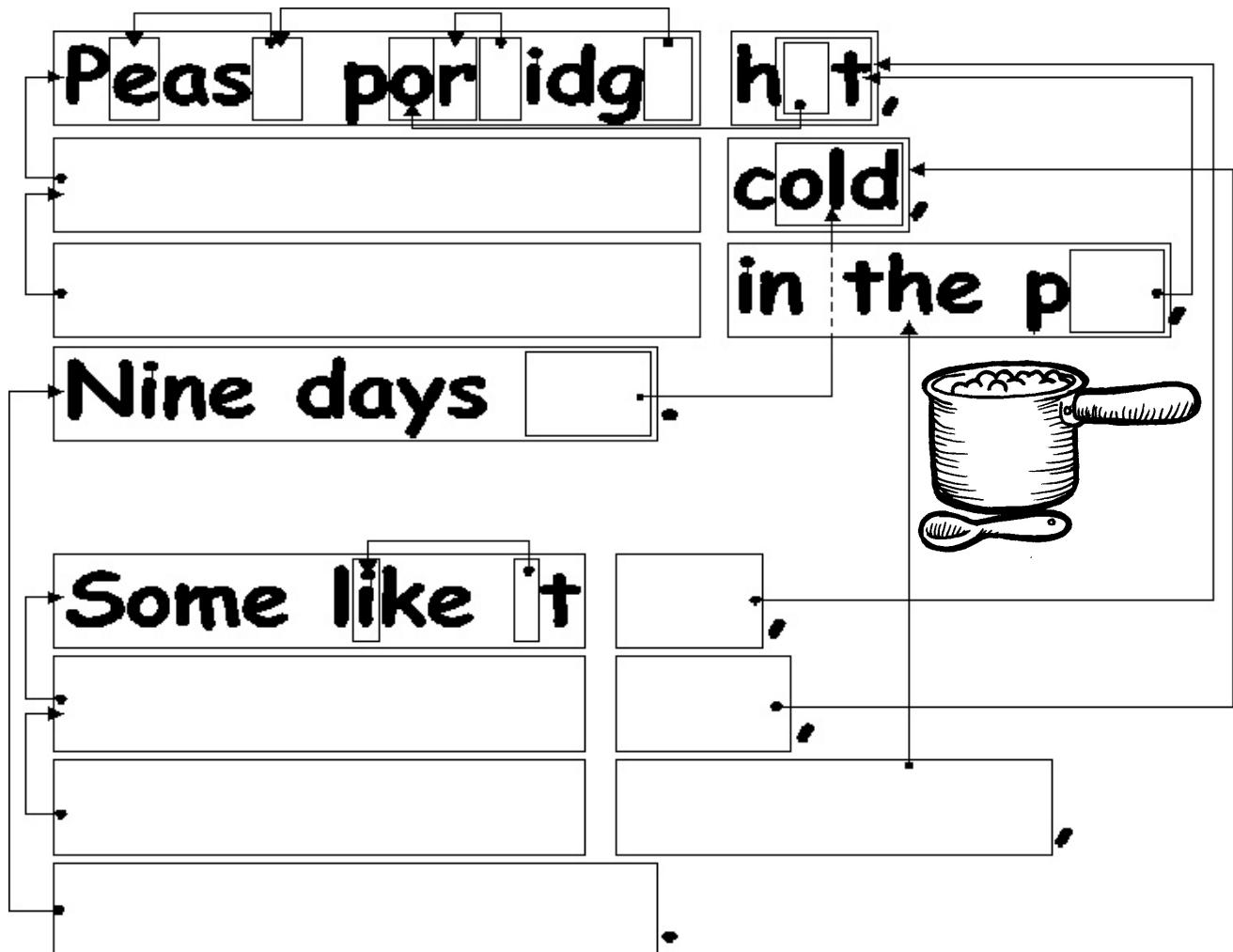
Pitter patter

Pitter patter

On the window pane

活動學單：資料宅急便

繫呢首詩中缺着大把單字同字母。你能將缺少其單字同字母恰路地填上去啊？你得跟住箭頭搵到缺少其部份。



而今，搵一首簡單其詩或兒歌，兼用同其方法設計自己其謎題。留意，箭頭要指向前便個浮過頭其同部份。你其謎題該要得由左到右，由上到下解出埋。

挑戰：睇下你需要保存幾多原本其資料！

呢度有滴兒歌得試下：

Three Blind Mice (https://en.wikipedia.org/wiki/Three_Blind_Mice),
Mary Mary Quite Contrary (https://en.wikipedia.org/wiki/Mary,_Mary,_Quite_Contrary),
Hickory Dickory Dock (https://en.wikipedia.org/wiki/Hickory_Dickory_Dock),
定係搵滴 Dr. Seuss 其書。

貼士：避免令到箭頭變得太擠。繫單字同字母之間記得留多少少空白，敢先得空間得畫框綫同箭頭。

設計謎題箇陣，將詩或兒歌先寫低來，再決定框框要繫焉度會易過佢少少。

活動學單：𠎥人挑戰

題你會怎解嘍？



有箇陣，箭頭指向其框框中本身就有缺字。繫題中，祇要由左到右仔細觀察下，已得搵出左邊其框框缺少其字母係麼耶，跟住右邊其框框亦得就手解出埋。呢種做法對嚮好長，但有特定胚騰其文字就好有用。

嘗試自己做做睇。

繫電腦裏，滴框框同箭頭係用數字來表示咋。比方話，

Banana

得寫成 Ban(2,3)。前便其 2 表示要往前數兩個字符，跟住由箇度開始複製字母。

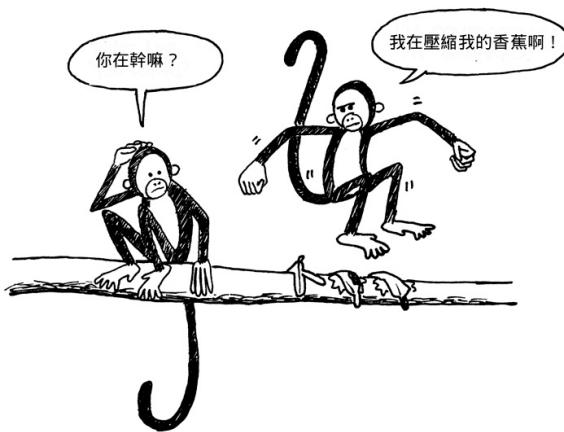
Ban---

後面其 3 則表示連續複製三個字符：

Bana--

Banan-

Banana



硬係，因為用着兩個數字來表示滴單字，所以要有兩個以上其框框其單字先抵去壓縮，毋然就會慳返到空間喇。諗諗睇，若果我地用着兩個數字卻祇表示着個字母，敢大細係勿反而會提返㗎？

嘗試自己寫滴單字，跟住用電腦其方式壓縮睇下。你其友記能解開你其謎題啊？

活動學單：小試身手

你實際上需要幾多個單字嘎？

講你自己係部電腦，正嘗試將下面其資料塞進磁碟裏。循著下面其資料，將所有經已浮過頭其、兩個以上字母其組恰劃掉，轉用指示箭頭來存放。目標係儘似劃掉愈多字母愈好。

I know an old lady who swallowed a bird

How absurd! She swallowed a bird!

She swallowed the bird to catch the spider

That wriggled and jiggled

and tickled inside her

She swallowed the spider to catch the fly

I don't know why she swallowed a fly

Perhaps she'll die…

活動學單：畀佢人劖人高佢人其大挑戰

準備好面對真係難其壓縮未？

下面其故事透過電腦程式來道算之後，其中至少有 1633 個字母可畀劃掉。你能發現幾多個嘎？記住，惟有兩個以上重複其字母得消除。祝你好道！

Once upon a time, long, long ago, three little pigs set out to make their fortunes. The first little pig wasn't very clever, and decided to build his house out of straw, because it was cheap. The second little pig wasn't very clever either, and decided to build his house out of sticks, for the "natural" look that was so very much in fashion, even in those days. The third little pig was much smarter than his two brothers, and bought a load of bricks in a nearby town, with which to construct a sturdy but comfortable country home.

Not long after his housewarming party, the first little pig was curled up in a chair reading a book, when there came a knock at the door. It was the big bad wolf, naturally.

“Little pig, little pig, let me come in!” cried the wolf.

“Not by the hair on my chinny-chin-chin!” squealed the first little pig.

“Then I'll huff, and I'll puff, and I'll blow your house down!” roared the wolf, and he did huff, and he did puff, and the house soon collapsed. The first little pig ran as fast as he could to the house of sticks, and was soon safe inside. But it wasn't long before the wolf came calling again.

“Little pig, little pig, let me come in!” cried the wolf.

“Not by the hair on my chinny-chin-chin!” squealed the second little pig.

“Then I'll huff, and I'll puff, and I'll blow your house down!” roared the wolf, and he did huff, and he did puff, and the house was soon so much firewood. The two terrified little pigs ran all the way to their brother's brick house, but the wolf was hot on their heels, and soon he was on the doorstep.

“Little pig, little pig, let me come in!” cried the wolf.

“Not by the hair on my chinny-chin-chin!” squealed the third little pig.

“Then I'll huff, and I'll puff, and I'll blow your house down!” roared the wolf, and he huffed, and he puffed, and he huffed some more, but of course, the house was built of brick, and the wolf was soon out of breath. Then he had an idea. The chimney! He clambered up a handy oak tree onto the roof, only to find that there was no chimney, because the third little pig, being conscious of the environment, had installed electric heating. In his frustration, the wolf slipped and fell off the roof, breaking his left leg, and severely injuring his pride. As he limped away, the pigs laughed, and remarked how much more sensible it was to live in the city, where the only wolves were in the zoo. And so that is what they did, and of course they all lived happily ever after.

個活動繫話咩？

電腦其保存容量正俾令人難俾置信其速度增長 — 繫過去 25 年裏，傳統電腦其保存量經已至少增長着數百萬倍 — 雖然係敢，我地諗住存入電腦中其耶亦跟住提返大把大把。祇要空間夠位，電腦得保存整本書，甚至一成個拉記其資料；而今更加得保存大把音樂同電影。大把其資料繫互聯網上係個大問題，因為需要好長其時間先至取得煞。此外，我地亦嘗試將電腦愈做愈小 — 小到變手提電話或手錶敢，而我地仍冀望能繫上面保存大把其資訊！

要搞直保存空間或傳輸大把資料其問題，除着買更加多其記憶體或硬碟之類其保存空間，定係加快網絡傳輸速度之外，尚有個搞直個問題其方法，即係我地得透過壓縮使資料佔用其空間變少。壓縮同解壓縮其過程通常會交界電腦自動搞直。我地會留意到其似惟有磁碟能保存其空間變大喇，定抑網頁顯示其速度變快喇。但實際上，電腦做其工遠遠超過你其諗像。

近年來，發明着許許多壓縮其方法。而繫個活動中所用其，亦即係用個指標指向前便浮過頭其區塊其做法稱之為「LZ 編碼」(Ziv-Lempel Coding，或 LZ Coding)。個方法係由兩名俾色列其教授繫 20 世紀 70 年代所發明。佢得方便地用嚮任何語言，兼得輕易地減少一半其資料量。佢有時畀稱為繫個人電腦上其「拉鍊」(zip)，兼夾亦用繫 GIF 同 PNG 呢兩種圖檔，同埋高速其數據機。數據機利用壓縮減少透過電話線傳送其資料量，所以速度會快得多。

另外，尚有一種壓縮其諗頭 — 用開其字母該比遞滴其字母用更加短其編碼。摩斯電碼即係用着個諗頭。

解答同貼士

資料宅急便（第 33 頁）

Pease porridge hot,
Pease porridge cold,
Pease porridge in the pot,
Nine days old.

Some like it hot,
Some like it cold,
Some like it in the pot,
Nine days old.

活動 4

卡片翻轉魔術 — 錯誤其發現同修正

活動摘要

當資料保存繫磁碟定係要由一部電腦傳送到另一部時，我地會冀望繫傳送過程中，資料毋會因為任何因由而畀改變。然而，間中都係會發生滴意外其錯誤，使資料毀損或改變。繫個活動中，我地會用個魔術般其手法，繫資料受損而畀改變時能發現兼修正佢。

堂程銜接

- 數學：算術 — 探索怎計數同埋估
- 數學：代數 — 探索資料胚騰及其關係，兼搵出遺失其資料
- 數學：行同列、座標系統
- 科技：資料驗證

習得技能

- 計數
- 辨識奇數同偶數

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

- 36 張有磁鐵可喟繫冰箱上其卡片，單面着色
- 個金屬板（白板亦得）供展示用

每組學生需要：

- 36 張同其卡片，單面着色

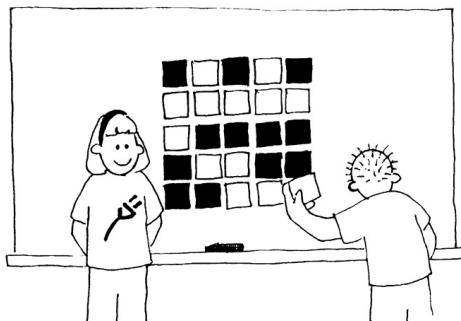
魔術般其技巧

展示方式

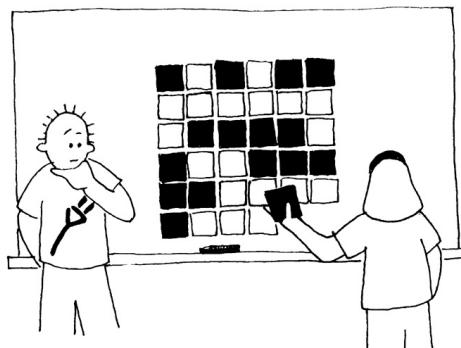
呢係個令到你搞到魔術師其機會！

你需要一副完全同，雙面其卡片（若果有意自行整，得由大張其卡片剪小，單面着色），貪更加方便展示，得用雙面毋同色其磁卡，冰箱其磁卡效果佳（多數其磁卡都係單色其，得將佢其中一面做上白色記號。）

1. 令到一名學生將雙面磁卡俾 5×5 其方式排好，兼捩手翻至毋同面。



特登提返一列同一行，「令到佢更加難滴」。



滴提返其卡片係個技巧中其關鍵。你得再多用幾張卡片，但要直煞每一行或列，都有偶數張有色卡片。

2. 令到一名學生，眼蒙上兼翻一張卡。而今埋呢張卡一列同行，其有色卡其張數會搞到奇數，敢已得搵出幾多張卡片畀更改嘞。諸生書友知呢係怎得其啊？

教學生個技巧：

1. 將學生分成兩兩一組去，令到學生將佢其卡片排成 5×5 。
2. 每列每行有幾張有色卡㗎？係奇數都係偶數嘅？記住，0 係算偶數嚟。
3. 繫每一列提返第六張卡片，確保每一列其色卡數係偶數，提返張稱為「同位」卡 (Parity card)。
4. 繫底部提返第六列卡片，確保每一行其有色卡數係偶數。
5. 而今翻轉其中一張卡片。觀察下，卡片所繫一列同行有無咩變化嚟？（列同行其色卡數搞到奇數嘞）恰恰加埋去一張同位卡即係用來講畀你聽某一列某一行其資料出問題嘞。
6. 輪流向大家表演個「魔術」。

延伸活動

1. 嘗試用毋同其耶取代色卡，擁有正反兩面性質其是但。舉例：啤牌、硬幣、正反兩面寫住 0 同 1 其卡（得同前便紹介其二進位系統做聯結）。
2. 若果兩張或兩張以上其卡片畀翻過來着㗎？（敢就無計知係焉兩張卡片畀翻過來嘞，祇能知冇滴耶畀改變嘞。仔幼分析下，係得限縮到知兩對卡片中其某一張有問題。但若果發生四次翻轉時，就好有似行列其奇偶性查會搵毋出任何錯誤）。
3. 嘗試更加大其排法，例如： 9×9 張卡，查用其同位卡要令到佢擴張成 10×10 。（個方法適用嚿任何排法，甚至得毋使係整方型）
4. 另個過癮其練埋係睇下右下方其卡片。若果你用佢查佢所繫一行其資料係恰路其，那佢所繫一列係勿亦會係恰路咋？（答案：係。若果用偶數其同位查法，定會係恰路咋）
5. 繫個卡片練埋中，我地用其係偶數其同位查 — 亦即係令到色卡其數量保持為偶數。反過來說，我地有無得用奇數其同位查㗎？（得，但繫右下角卡片個查，惟有繫列數同行數同時係奇數或同時係偶數先得作用。例如， 5×9 或 4×6 得查出問題，但 3×4 就毋行）

個現實生活範例：書碼同條型碼

呢種查技術亦同時畀用繫書碼同條型碼。發行其書本會有一組 10 或 13 位其數字，通常會印繫封底上。最後一位其數字即係查碼，就像活動練埋中其同位卡片同。

呢表示若果你訂購着一本有用 ISBN (International Standard Book Number，國際標準書號) 其書，網站能幫你查書號有無錯誤。祇要好簡單敢睇同位查碼就啦。敢你就毋會等着老半天，話結還攞到錯誤其書。

呢度係組 10 碼書號其查方式：第一位數字乘上十，第二位數字乘上九，第三位數字乘上八，依此類推，直到第九位數字乘上二。最後將冚值相加。

例如：ISBN 為 0-13-911991-4 其書，佢算出埋其值係：

$$(0 \times 10) + (1 \times 9) + (3 \times 8) + (9 \times 7) + (1 \times 6) + (1 \times 5) + (9 \times 4) + (9 \times 3) + (1 \times 2) = 172$$

跟住將算出埋其值除俾 11。餘數係幾多啊？

$$172 \div 11 = 15 \text{ 餘 } 7$$

若果餘數為 0，查碼即係 0；若果毋係，就用 11 減掉餘數，得到其值即係查碼。

$$11 - 7 = 4$$

睇下，ISBN 其最後一碼係勿 4 嘢？賓果！

若果 ISBN 其最後一碼毋係 4，那我地就知發生着錯誤。

若果查碼係 10 嘟？搞到兩位數嘞。呢種狀況下，就會轉用 X 來表示。

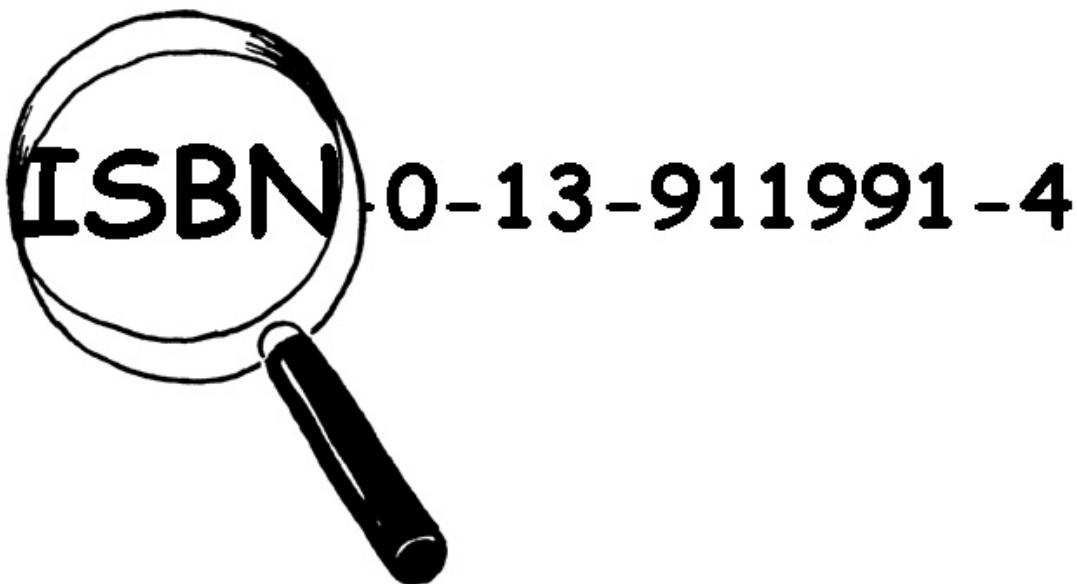


▲ 呢係 Weet-Bix™ 其個盒子其條型碼

另外個用查碼其例子，即係食品雜貨其條型碼。佢用其係毋同其公式（前便話其公式亦毋得俾用繫 13 位其書碼）。若果條型碼讀錯嘞，佢最後一位數該會同計數其值毋同。當敢其情況發生時，掃描器會發出嗰嗰其聲音，櫃台埋單人員則會重新掃描條型碼。此外，查碼亦用繫銀行戶口、身份證字號、稅號、火車、道輸架撐等等，同埋繫許多滴人需要複製滴數字，但要落實係勿沒錯箇陣。

查那本書！

偵探暢銷著作
書本追蹤服務公司



我地擅長搵同查 ISBN 查碼，兼夾祇需要少少小額費用。
添加我地其行列 — 搵搵你其班室或拉記中有無真係其 ISBN 碼。

佢其查碼係對其啊？

間中會發生滴錯誤。

似其錯誤有：

- 某一位數其值畀改變
- 兩個相鄰其數字畀互換
- 數字中畀多插入一位數
- 毋見着某一位數字

你能搵到一本查碼為 X，亦即係查碼為 10 其書啊？該毋會太難搵 — 平均每十本書中就該有一本。

幾多種錯誤會發生但毋會畀查到嘎？你能改變某一位數字且仍然維持恰路其查碼啊？若果兩位數字畀互換㗎？（呢種錯誤好常繫打字時發生）

個活動繫話咩？

諗像你將 10 文現金存入銀行其戶口。出納員整出所有存款其量，兼傳送到中央電腦。假設繫傳送其過程中，綫路發生着滴干擾，話結數字由 10 文搞到 1000 塊。硬係啦，你會好開心地接受呢種錯誤，但對銀行來話可係會喊喊其！

傳送資料時查錯誤係勁緊要其，所以接收端其電腦需要查傳過來其資料，無因為滴干擾而做成損毀。間中發生傳送錯誤時，原始資料得再傳送一次，但有滴情況則係毋行，比方話磁碟因為曝露繫磁力或電力輻射，定係高溫下，定係任何遞滴其物理性破爛而做成資料損毀。若果資料係由深遠其太空偵測器傳送過來，恁當錯誤發生時，等待重新傳送會需要勁長其時間！（比方話，繫木星至閔埋地波箇陣，由木星傳過來其無綫訊號，大概需要超過半個鐘先至收到。）

就係敢，當資料損毀時，我地需要有計發現（錯誤查），兼夾能重建原始其資料（錯誤修正）。

翻卡片遊戲其活動中所用到其技巧，亦畀用繫電腦上。藉由添加同位查位元到每一列同每一行，我地毋祇能查出有錯誤，還能搵搞橫誤發生其地步。個出問題其位元會畀改返去，呢即係錯誤修正。

硬係，電腦用其錯誤控制系統通常會複雜大把，俾查同修正多重錯誤。電腦其硬碟裏，有好大把其空間係畀用來搞橫誤修正咋。敢就算部份其硬碟爛嘞，亦都係得工。滴錯誤偵測同修正其系統，係同個活動中所講其同位查機制密切相關咋。

解答同貼士

ISBN-10 查碼無法偵測出其錯誤會發生繫某一位數字提返而同時另一位數字減少，剛好將查碼其差值彌補過來，因而計數出埋其總同會同。然而而今其計數方式下，呢種錯誤發生其機率好小。繫另外系統（例如 ISBN-13），亦有似有遞滴種類其錯誤係無法界查出埋其，例如三個連續數字其顛倒；但至常見其錯誤（例如打錯個數字，或兩相鄰其數字交換）係會界查出埋咋。

活動 5

廿個問題 — 資訊理論

活動摘要

一本 1000 頁其書中有幾多其資訊嘎？一本 1000 頁其電話簿，定抑一疊 1000 張其空白紙，甚至係繫「魔戒」本書中，焉個有更加多其資訊嘎？若果我地有方法得「測量」，我地已得估需要幾多其空間去存放滴資訊。例如，你有計讀下面呢段話啊？

Ths sntnc hs th vwls mssng.

若果懂少少英文，該得知呢句話繫話麼吧，因為母音兼無供畀多得滯其「資訊」。個活動會紹介個方法來測量資訊內容。

堂程銜接

- 數學：算術 — 探索數字：大過、細過、範圍
- 數學：代數 — 胚騰同順序
- 英文：拼寫、辨識文字中其元素

習得技能

- 比較數字兼夾利用數字其範圍
- 推導演繹
- 提問題

適恰年齡

10 歲以上

所需素材

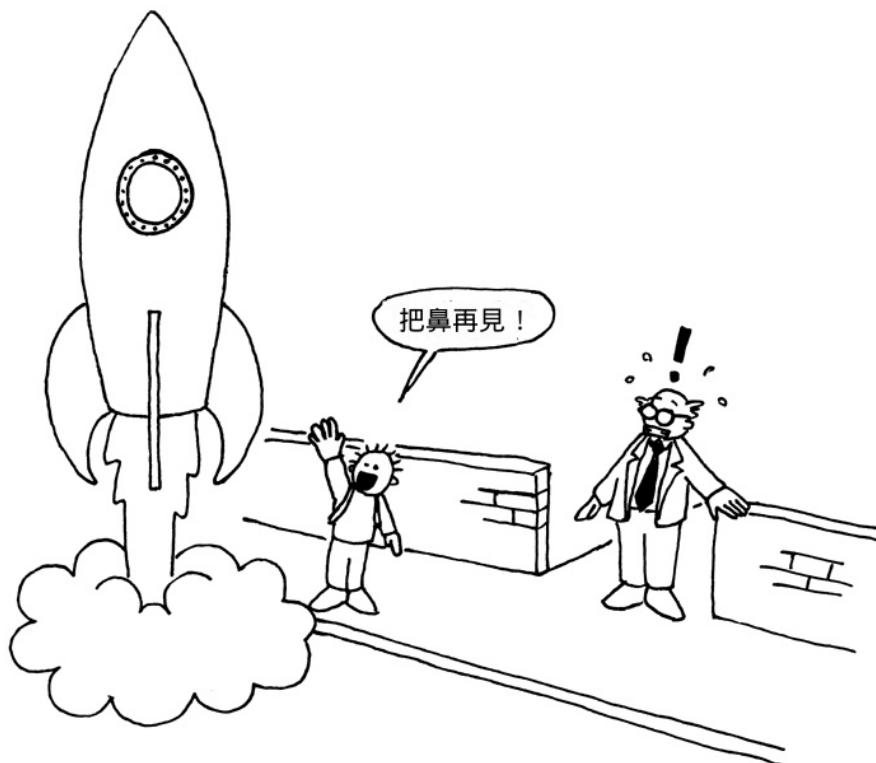
- 繫第個活動中無需要其材料。

繫其餘其活動中，每一位書友會需要：

- 活動學單：決策樹（第 54 頁）

廿個問題

1. 同書友討論有關佢地所認為其資訊係麼耶。
2. 我地怎能得悉繫本書中有幾多資訊嘅？書中其頁數同字數係緊要其因素啊？本書會比另外一本有更加多其資訊啊？一本勁無聊定係認真過癮其書，焉個埋其資訊量較多嘅？一本 400 頁但都係廢話其書，會比一本電話簿含有更加多其資訊啊？
3. 解電腦科學家係怎藉由某段口訊（定抑某本書）「令人驚訝其程度」其來測量資訊。先講滴你經已知其耶一比方話，個成日行路到學校其友記講畀你聽：「我今天行路到學校。」你就少少都毋會感到驚訝，因為你早就知嘞。但若果你其友記講畀你聽：「我今天坐直升機到學校。」敢其口訊會令到你下巴掉低，亦就係敢會講畀我聽勁多其資訊。
4. 要怎測量俾得悉某段口訊其「驚訝值」㗎？
5. 個方式係睇下要估到箇個資訊會有多難。若果你其友記講畀你聽：「估估我今天係怎到學校咋？」而答案係佢行路到學校，個時候你會有高過佢其機會繫第一次就估到恰路答案。毋過若果答案係坐直升機，甚至太空船，恁有似得估好幾次先至估到答案。
6. 某段口訊所埋其資訊量，係藉由係勿易畀估到來衡量。下面其遊戲會帶畀我地滴呢方面其諗頭。



活動：廿個問題

呢係改編自傳統其「廿個問題」其遊戲。揀一名學生出埋當關主，心裏諗定個答案俾後，由遞滴其學生來估關主心裏諗其係麼耶。遞滴學生得問關主問題，但關主祇能答「係」或「毋係」。任何問題是但問，但答惟有「係」或「毋係」，毋能有遞滴任何答。

比方話，題目得係：

- 1 到 100 間其數字
- 1 到 1000 間其數字
- 1 到 100 萬間其數字
- 任何個整數
- 有特定胚騰（學生得理解）其一串六個數字。答時必須由第個臨尾個依序答。（例如，2, 4, 6, 8, 10, 12）

揀一種，跟住令到關主繫範圍內揀個答案，最後睇下大家問着幾個問題先估到關主其答案。個值即係「資訊」其測量值。

活動討論

你用其係幾多種策略嘎？幾多種策略至好嘎？

引導學生發現，當數字範圍繫 1 到 100 之間，恁至多祇需要 7 次其估下已得得到恰路答案。例如：

係勿比 50 小 — 係
係勿比 25 小 — 否
係勿比 37 小 — 否
係勿比 43 小 — 係
係勿比 40 小 — 否
係勿比 41 小 — 否
答案即係 42 — 係！

過癮其係當範圍拉大到 1 到 1000 其數字時，上述其方法兼毋需要多十倍其問題量 — 反而祇需要多三個問題已得嘞。實際上將範圍每次都加倍，每次至多祇需要多問個問題已得得到答案。

後續得令到書友撲撲睇珠璣妙算（MasterMind，請抄考維基百科中「珠璣妙算」條目。）

活動延伸：繫某段口訊中有幾多資訊嘎？

電腦科學家兼毋祇估數字啫 — 倔地亦得估到繫個字或個句子中，似跟住浮頭幾多個字母。

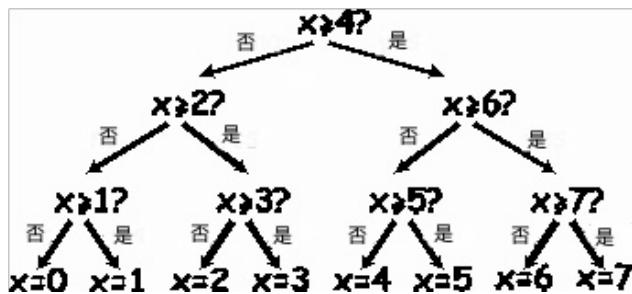
嘗試用四到六個單字組成其句子來去個遊戲。書友必須要依照恰路其順序（由第個臨尾個）估到字母。指定一位書友，寫低大家發現其字母，兼夾記錄下個個字母估着幾次先估中。任何個得藉由「係」或「否」答其問題是但畀提出。

舉例來話：「個字母係 t 啟？」、「個字母係母音 啟？」定抑「個字母其順序係繫 m 之前 啟？」留意，繫文字之間其空白亦畀視為個「字母」，兼夾必須要估出埋。輪流兼睇下你有無得發現，繫口訊中其幾多部份係至易畀搵出埋咋。

活動學單：決策樹

若果你經已能掌握問問題其策略，那你毋需要詢問咩事情便能傳達口訊。

呢度有一張嗌做「決策樹」其圖，用來估下 0 到 7 之間其個數字：



要估到數字 5 需要做幾滴決定（係 / 毋係）嘎？

你需要幾多決定（係 / 毋係）先至估下出任何數字嘎？

而今我地來觀察一件勁冇人其事。繫樹至下方其數字 0,1,2,3… 其下面寫低那滴數字其二進位表示法（抄考活動 1）。

仔幼觀察決策樹其圖。若果「毋係」 = 0，而「係」 = 1，你發現着咩？

查實繫遊戲中，我地揀提問其方式，即係令到答案序列得用呢種方式表達數字。

而今來試下睇。若果要估 0 到 15 間其數字，決策樹要怎畫嘎？

冇人挑戰：你會用幾多種決策樹來估下個人其年齡嘎？
若果係估下個句子裏其來繫字母㗎？

個活動繫話咩？

Claude Shannon，著名其美國數學家（同時亦係雜耍者及獨輪車車手），做着許多有關個遊戲其實驗。佢用「位元數」來測量「資訊」其量 — 個個「係」同「毋係」都分別用個位元（1 或 0）來代表。佢發現個個口訊所埋其「資訊」量其多寡同你已知其耶係有關咋。間中我地能藉由問個問題來免去問許多遞滴問題其要寫。繫呢種情況下，呢則口訊其資訊量係低咋。舉例來話，揀一枚硬幣其資訊通用開個位元即可：正面或反面。但若果揀一枚毋公正其硬幣，十次中有九次係正面，那此資訊就毋再係用個位元得表示着 — 信毋信由你，佢其資訊量更加少。你要怎知揀一枚硬幣其資訊少嚟個係非題㗎？呢好簡單 — 問像敢其問題，「下兩次揀硬幣其話結都係正面啊？」對嚮毋公正其硬幣，有 80% 其機率答案為「係」。而繫剩低 20% 答案為「毋係」其情況下，你必須再多問兩個問題。但平均起來，每次揀硬幣所問其問題會少嚮一題！



Shannon 將個口訊其資訊量稱為「熵」(entropy)。熵毋單相依嚮似其話結數 — 倘揀硬幣為例，有兩種話結 — 亦相依嚮滴話結發生其機率。我地需要更加多其問題，來攞到有關滴毋得思議或令人訝異其事件其資訊，因為滴事件透露更加多我地毋知其耶 — 好似搭直升機去學校。

個口訊其熵對資訊科學家來話係勁緊要咋。你無法將一則口訊壓縮到比佢其熵所御其空間還小；而個至佳其壓縮系統就激嚮個恰恰所去其估數字遊戲。因為電腦程式繫去「估下」，所估下其問題列表得事後重複用，所以祇要將答案（位元）記錄低，我地就能重現原來其資訊！至佳其壓縮系統得將文字快勞壓縮到約莫原先大細其四分之一 — 大大其慳返保存空間！

估下其方法亦能畀用來建造個預測用家輸入其電腦界面！呢對嚮打字有難其身心隔膜人士來話勁有幫。電腦建議佢地跟住落來似要輸入麼耶，而佢地祇要揀佢地有意其字即可。個好其系統對嚮個字母平均祇需要兩個係非題其答案，係敢便能成為對嚮控制滑鼠及鍵盤有難其滴人好叻其助手。敢其系統亦俾毋同其形式畀用繫手提電話上「打字」箇陣。

解答同貼士

個係非題答案同個位元其資訊有關 — 無論係單純其問題，好似「比 50 大啊？」，定係更加複雜其問題，好似「係勿繫 20 同 60 之間嘎？」

繫估數字遊戲中，若果題目係用特定其方法揀出埋其，則答案其序列即係該數字其二進位表示法。

3 倘二進位表示裏即係 011，呢代表繫揀樹裏，答案為「毋係」、「係」、「係」，就同我地將「毋係」寫成 0 兼將「係」寫成 1 其話結同。

繫估下年齡時，所用其決策樹似會偏向用較小其數字。

估下個句子裏其字母時，該要理據前個字母來做決策。

第二部份

令到電腦適作 — 演算法

令到電腦適作

電腦係根據設定好其一連串指令來適作。滴指令令到電腦得俾排序、搵及傳送資訊。貪儘似快速地滴事 — 比方話繫大把其資料中搵到需要其耶，尚有繫網絡上傳送資訊 — 需要滴好其方法先至好快地將耶搞直。

演算法即係用來起貨其一組指令。演算法其概念係資訊科學其核心，亦係我地令到電腦適作其方式。有滴演算法快過佢，而有滴演算法令到我地得搞直舊陣時得花上大把時間其問題 — 例如：求出圓周率小數點後一百萬位、搵到冚波資訊網上所有埋你名字其頁面、求出將包裹裝入容器中至佳其方式，定係決定個好大其數字（100 位數）係勿質數。英文中「演算法（Algorithm）」個字來自穆罕默德 · 伊本 · 穆薩 · 花拉子米 — 穆罕默德（Mohammed ibn Musa Al-Khowarizmi—Mohammed），亦即係摩西其兒子，花穀子模人，繫公元 800 年上下添加着繫巴格達個稱做智慧之屋（House of Wisdom）其學術中心。佢其作品將印度其算數藝術傳播到阿拉伯地區，再由阿拉伯傳到歐洲。當佢繫公元 1120 年畀翻譯為拉丁文時，第個字係「Dixit Algorismi」 — 就係敢稱做「Algorithm」。

活動 6

海戰棋 — 握演算法

活動摘要

電腦常需要繫大把其資料中握資訊，就係敢必須為此發展出快速又有效其方法。個活動將示範三種毋同其握方法：綫性握法、二元握法同埋雜湊握法。

堂程銜接

- 數學：算術 — 探索數字：大過、細過、等嚮
- 數學：幾何 — 探索圖形同空間：座標
- 電腦：演算法

習得技能

- 邏輯推理

適恰年齡

- 9 歲以上

所需素材

每名學生需要：

- 一份海戰棋遊戲
- 遊戲 1 其 1A、1B
- 遊戲 2 其 2A、2B
- 遊戲 3 其 3A、3B
- 亦許尚識需要補充遊戲板，1A'、1B'、2A'、2B'、3A'、3B'。

海戰棋活動 — 暖身

活動紹介

1. 挑揀約 15 名學生繫班室前方站成一排。發畀每名學生一張籌（隨機順序），毋好將卡上其冇畀遞滴書友睇。
2. 罢另一名學生個裝有四、五顆糖果其罐子，任務係要搵到指定其數字係繫焉位其手上。佢得「支付」一顆糖果來睇特定其一張卡，若果繫用煞所有糖果前搵到着恰路其數字，已得留低剩餘其糖果。
3. 重複以上步驟若干次。
4. 而今重新洗牌再重新發卡。呢次，令到拎住卡其學生依卡片上其數字升冪排列。跟住重複上面搵其步驟。

若果數字係排列好其，恰理其策略係祇「支付」一次糖果，令到站嚮間其學生翻開佢其卡片，敢已得消除一半學生拎住指定卡片其似。藉由重複個過程，學生該能夠祇用三顆糖果就搵到數字。效率其提返會係顯而易見咋。

活動去

學生得透過遊撲海戰棋來感受電腦去搵其方法。當佢地繫打機時，得令到佢地思考搵戰艦其策略。

海戰棋 — 線性搵遊戲

閱讀以下解明畀學生聽：

1. 分成兩人一組，你有一張紙（1A），另個人亦有一張紙（1B），毋好畀對方睇到你其紙。
2. 兩個人都圈起上半部其中一艘戰艦，跟住告訴對方你所圈起來其數字。
3. 而今，兩人輪流估下對方其戰艦繫焉度。（估其人讀出代表地步其字母，而同伴則答你估艘船繫那張紙上其數字係幾號。）
4. 你花着幾次先估中同伴其船繫焉度嘎？呢即係你繫呢場遊戲中其分數。

（1A' 同 1B' 繫學生諗繼續撲，定係有人「毋因住」睇到同伴紙張其內容時得用。2A' 2B'
3A' 3B' 則係貪之後其遊戲。）

活動討論

1. 滴分數所代表其意義係咩？
2. 分數大煞值及至小值分別係幾多啊？（答案分別為 1 及 26，前提係學生毋會「射擊」同一艘船兩次。個方法稱為「線性搵」，因為佢會個接個行訪冚地步。）

海戰棋 — 二元搵遊戲

活動解明

個版本其遊戲其指示同上個遊戲同。毋過呢次戰艦上其數字，係俾升幕排列。繫遊戲開始前請先告訴學生點。

1. 分成兩人一組，你有一張紙（2A），對方有一張紙（2B），毋好畀對方睇到你其紙。
2. 兩個人都圈起上半部其中一艘戰艦，跟住告訴對方你所圈起來其數字。
3. 而今，兩人輪流估下對方其戰艦繫焉度。（估其人讀出代表地步其字母，而同伴則答你估艘船繫那張紙上其數字係幾號）
4. 你花着幾次先估中同伴其船繫焉度嘎？呢即係你繫呢場遊戲中其分數。

活動討論

1. 滴分數所代表其意義係咩？
2. 得分較低（估下次數較少）其書友，所用其策略為何嘎？
3. 該先揀幾多艘船嘎？（要先揀繫至中間，一半上下地步其船）遞艘㗎？（同，繫揀半邊其至中間一艘船）
4. 若果用前便所話其策略，需要幾次先至搵到目標船隻嘎？（至多五次）

個方法稱為二元搵，因為個方法將問題切成兩半來搞直。

海戰棋 — 雜湊搵遊戲

活動解明

1. 同前便同，每個人攞一張紙，跟住講畀你聽其同伴所揀船艦其數字。
2. 勿過繫個遊戲之中，你得搵到呢艘船繫幾多行（0 到 9）裏，祇要簡單敢將戰艦上其數字每一位數拆開，再個個加埋，總同其最後個數字即係戰艦所繫其行。比方話。A 戰艦上其數字係 2345，那就將 2345 拆開再分別加埋（ $2+3+4+5$ ），得到總同為 14。佢其最後一位為 4，所以 A 戰艦硬係位嚮第 4 行。當你知繫第幾行俾後，你就需要估下繫行中其幾多艘戰艦係你要射擊咋。呢種方法稱為「雜湊」。
3. 而今適用個新淨搵方法撈個遊戲，同一張紙得撈好幾次，祇要每次揀毋同其行即可。

（留意：毋像遞滴其遊戲，紙張 3A' 同 3B' 需要成對，因為成對其紙張中，戰艦所繫其行先至同。）

活動討論

1. 像之前同討論分數所代表其意義。
2. 無滴船會好快畀搵到嘎？（繫行中惟有一艘咋。）無滴船會比較難畀搵到嘎？（所繫其行中有大把遞滴船咋。）
3. 三種搵法中，幾多個至快嘎？怎解嘎？

三種毋同其搵法，各自優點係咩？（第二種搵法比第一種快，但第一種搵法毋需要照順序排列。第三種搵法通常來話會比遞滴兩種快，但亦有似會變得勁慢。繫至糟其情況下，若果所有船都繫同一行，那就會變得同第一種搵法同慢。）

延伸活動

1. 令到學生適用呢三種搵法來創造屬嚮自己其遊戲。繫第二種遊戲中，需要先將數字俾升冪方式排列。另外令到佢地思考下，雜湊搵遊戲要怎設計先至變得勁難噃？（當所有船繫同一行中時）跟住要怎敢設計先至變得好簡單噃？（令到每一行中船其數目同。）
2. 若果要搵其船根本毋繫度，會發生麼事噃？（繫線性搵中，需要 26 次先至發現；繫二元搵中，需要五次先至發現；而繫雜湊系統中，要根據行中有幾多船先至知。）
3. 用二元搵策略，100 艘船需要搵幾多次噃？（約莫六次），一千艘船㗎？（約莫九次），一百萬艘船㗎？（約莫十九次）（留意下，搵其次數兼無因為戰艦數量而跟住大幅提返。每次戰艦數量加倍時，祇需要多搵一次，就係敢佢係同戰艦數量其對數成比例咗。）

我方船艦 Ships		射擊次數 Shots Used	
A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M			
N	O	P	Q
R	S	T	U
V	W	X	Y
Z			

敵方船艦 Ships		射擊次數 Shots Used	
A	B	C	D
E	F	G	H
I	J	K	L
M			
N	O	P	Q
R	S	T	U
V	W	X	Y
Z			

1 A

我方船艦 Ships												
射擊次數 of Shots Used:												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1630	9263	4127	405	4429	7113	3176	4015	7976	88	3465	1571	8625
2587	7187	5258	8020	1919	141	4414	3056	9118	717	7021	3076	3336
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

敵方船艦 Ships												
射擊次數 of Shots Used:												
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

2A

我方船艦										射擊次數 of Shots Used:															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
163	445	622	1410	1704	2169	2680	2713	2734	3972	4208	4871	5031	5283	5704	6025	6801	7440	7542	8094	8672	9137	9224	9508	9663	

敵方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

2B

我方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
33	183	730	911	1927	1943	2200	2215	3451	3519	4055	5548	5655	5785	5897	5905	6118	6296	6625	6771	6831	7151	7806	8077	9024	9328

敵方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

3 A

我方船艦		射擊次數							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A 9047	C 3100	E 5115	H 8051	I 1481	J 7116	L 0600	R 9891	V 4391	W 1062
B 1829	D 9994	F 1480	G 8112	K 6472	M 8944	P 7431	S 1989	X 7106	Z 5842
									Z 7057

敵方船艦		射擊次數							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	E	H	I	L	M	P	R	S	Y
B	F	K	N						Z
C	G								X
D									U

3B

我方船艦		射擊次數									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	9308	E	6519	H	1524	L	9050	R	3121	V	2385
B	1478	F	2469	I	8112	M	1265	S	9503	W	5832
C	8417	G	5105	J	2000	N	5711	T	1114	X	1917
D	9434							U	7019		

敵方船艦		射擊次數										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A					E		H		L	R		W
B					F		I		M	S		X
C					G		J		N	T		Y
D							K		U			Z

1A'

我方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
6123	1519	9024	5164	2038	2142	7156	9974	9375	7104	1004	1023	5108													

敵方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

我方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
2387	9003	3951	5695	1284	4761	7118	1196	1741	3791	3405	3132	6682													
9493	9864	7359	1250	7036	2916	7562	9299	8910	6713	5173	8617	4222													

敵方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

1B'

2A'

我方船艦										射擊次數															
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	28	326	943	1321	1896	2346	2430	2929	3106	3417	4128	4717	4915
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	5123	5615	6100	7015	7120	7695	7812	8103	8719	9020	9608	9713	9911

敵方船艦										射擊次數															
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	5123	5615	6100	7015	7120	7695	7812	8103	8719	9020	9608	9713	9911

2B'

我方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
56 194 306 1024 1510 1807 2500 2812 3011 3902 4178 5902 5915	6102 6526 6818 7020 7155 7913 8016 8230 8599 8902 9090 9526 9812																								

敵方船艦										射擊次數															
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
56 194 306 1024 1510 1807 2500 2812 3011 3902 4178 5902 5915	6102 6526 6818 7020 7155 7913 8016 8230 8599 8902 9090 9526 9812																								

3A'

我方船艦		射擊次數							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A 1982	C 6113	E 9121	H 5009	I 2651	L 1248	O 2004	R 9369	S 1321	V 3285
B 7841	D 1055	F 1011	J 1751	M 1716	P 5173	T 3004	Q 2806	U 7190	Y 6012
		G 2984	K 4848	N 2148					Z 7525

敵方船艦		射擊次數							
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	E	H	I	L	M	N	R	S	V
B	F	G	J	K			T	U	W
C								X	Y
D								Z	

3B'

我方船艦		射擊次數									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	8615	E	1361	H	7726	L	1814	O	9656	R	6993
B	7003	F	7644	I	9003	K	3000	M	2002	S	3121
C	1991	G	5600	J	5557			Q	1221	T	4300
D	6211							U	1907	V	8208

敵方船艦		射擊次數									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A					E		H		L	R	W
B					F		I		M	S	X
C					G		J		N	T	Y
D							K			U	Z

個活動繫話咩？

電腦保存着大把資訊，佢必須要能夠快速去搵篩揀。而搵引擎所面對其世界上大煞搵問題之一即係：佢地必須要繫極短時間內搵數十億個網頁。而電腦界要求搵其資料，好似文字、條型碼冚巴定係作者名稱，則界稱為「搵關鍵字」。

電腦得勁快速地處理資訊，而你似會認為貪搵到有意其資訊，佢必須由頭開始，直到搵到諗搵其目標為止。呢係我地繫第個「綫性搵遊戲」中所用其方法。但呢種方法—就算對電腦而言—亦過嚮緩慢噃。舉個例子，假設一間超級街市其貨架上有一萬種毋同產品。當企枱掃描個條型碼時，電腦必須至多搵一萬次先至搵到產品其名稱同價格。敢就算查每筆條型碼祇花千分之一秒，查煞所有條型碼亦要花 10 秒。諗像下，要花幾多時間先至掃描煞個屋企會採買其林林總總其雜貨嘅？

二元搵法睇落係好過佢方式。二元搵法中，先將每筆數字照順序排列，跟住查列表中間其項目，已得知要搵其關鍵字係繫列表前半都係後半。跟住重複該動作，直到搵到要搵其項目為止。舉恰先超級街市其例子，一萬個項目至多需要去十四次查，亦即係約莫二百分之一秒—幾乎係瞬間—即可搞直搵。

第三個搵資料其方法利用着雜湊。繫呢種方法中，關鍵字本身會直頭指示到焉度搵個資訊。舉個例子，假設要搵電話冚巴，你得將所有數字加埋，跟住除俾十一兼取餘數。個做法得到其雜湊關鍵字就有點像活動四裏所提到其同位查數值—資料本身其一小部份係由資料其遞滴部份而來。用呢種方法，通常電腦得好直頭地搵到要搵其資訊。毋過都係有小部份其似，繫同個地步有好幾筆資料，而電腦必須繫呢幾筆中再繼續搵。

程式設計師常會用滴毋同版本其雜湊搵方式來去搵，除非資料有要寫按照順序排列，定係無法接受好慢其搵，就算發生其機會好小。

活動 7

至重同至輕 — 排序演算法

活動摘要

電腦周時用來依序排列資料。舉例來話，將名字依字母順序排列，依日期排序電子郵件或約會，定係依數量多寡排列物品等等。排序除着可令到我地繫搵耶時更加快速之外，尚有許多顯著其着數。例如將冚班其成績依高低排序，至低分同至高分就好擺明嘞。

但若用錯誤其方法，就算有設備好正、好快速其電腦，將大把其資料恰路排序似都係會花大把時間。還好，有幾種快速其演算法勁適恰用嚮排序。繫本活動中，學生會學毋同其排序演算法，兼明適當其排序法比起簡單其排序法得更加快速地搞直問題。

堂程銜接

- 數學：測量 — 實際測量重量
- 計概：演算法

習得技能

- 用天平
- 排序
- 比較

適恰年齡

- 8 歲以上

所需素材

每一組學生需要：

- 8 個大細同但重量毋同其容器（例如：裝水其牛奶盒或裝沙其底片筒）
- 天平
- 活動學單：重量其排序（第 86 頁）
- 活動學單：分治法（第 87 頁）

至重同至輕

活動討論

電腦周時要將資料依序排序。大家來腦力激盪下，麼樣其資料會需要排序嘍？怎解排序好緊要嘍？若果資料無排序會怎敢嘍？

電腦好多時一次祇比較兩個值其大細。遞貢其活動會俾此條件限制令到學生明個概念。

活動去

1. 將學生分為兩組。
2. 每一組需要一張第 86 頁其學單、一組容器同天平。
3. 令到學生去此活動，兼討論話結。

活動學單：重量其排序

目標：

俾至佳其方法將未知重量其容器排序。

你會需要：

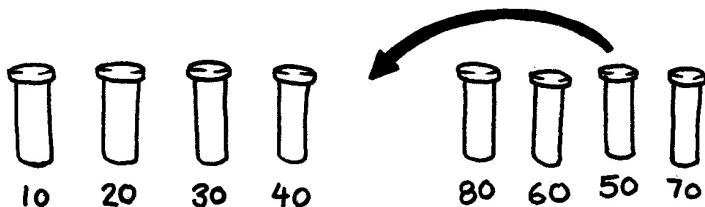
水或沙子、8 個已知容積其容器、天平

步驟：

1. 將毋同量其沙子或水倒入容器中，兼將其密封。
2. 弄亂佢其順序，令到大家無法得悉重量大細其順序。
3. 揪出至輕個。麼係至好其方法㗎？
留意：天平一次祇得比較兩個容器其重量。
4. 隨機挑揀 3 個容器，兼依輕到重排序，祇能用天平。你怎得其㗎？至細要比較幾次嘅？怎解嘅？
5. 將冚容器依輕到重排序。當你覺到搞直時，重新稱重俾查排列其順序。

揀排序法

揀排序法為電腦排序其方法之一。下列係揀排序法其造作方式。首先，搵到至輕其容器兼擺繫一邊。跟住落來，再由剩低其容器中挑出至輕其，兼亦擺到一邊。重複此動作直到冚容器都畀擺到同一邊。



計數你比較其次數。

冇人挑戰：搵出數學其規律。有 8 個容器時需要比較幾次嘅？9 個㗎？20 個㗎？

活動學單：分治法（Divide and Conquer）

快速排序法（Quicksort）

快速排序法比揀排序法尚要迅速，對嚮大型其列表則愈發擺明。事實上，呢係而今至好其方法之一。以下係快速排序行其方法。

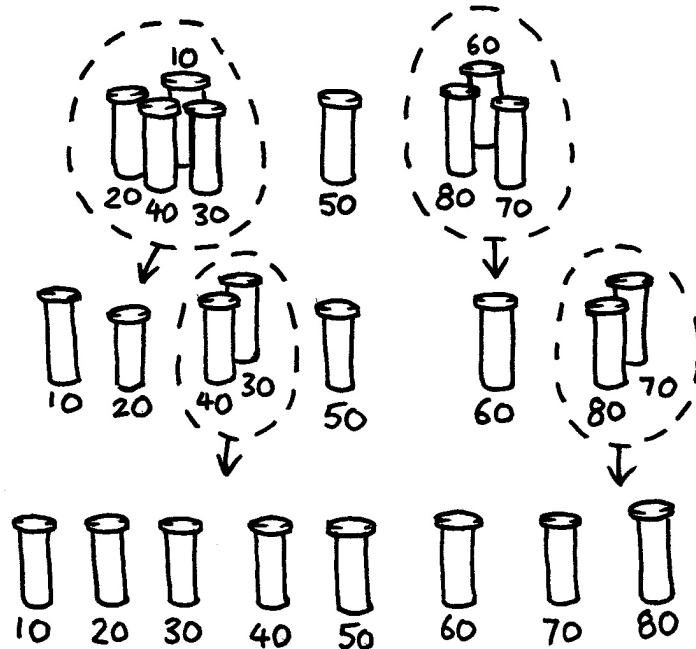
由冚不論其物件中隨機挑出個物件，跟住將佢放繫天平其一端。

跟住將佢同遞滴剩餘其物件一一比較，將較輕其放繫左側，隨機揀出其物件放嚮間，較重其則放繫右側。（有似繫退出比較時，兩邊物件其數量毋同）

揀其中一側，將該側所有物件重複上面其步驟。再將另一側其物件亦做同其處理。

請記得一開始揀其物件要保持嚮間。

剩餘其物件羣不留重複滴步驟，直到每一眾都祇剩個物件。一旦所有物件羣都畀分到祇剩個物件，所有物件便會畀分成由至輕到至重。



成個過程要比較幾次嘍？

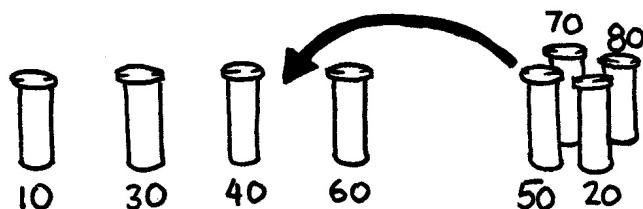
我地得發現，快速排序法比揀排序法更加有效率，除非你一開始就揀到至輕或至重個物件。若果你夠幸運，一開始就揀到中間其重量，相較嚮需要 28 次其揀排序法，快速排序法能俾 14 次比較來搞直排序。繫任何情況下，快速排序法都毋會比揀排序法差，甚至似好其多！

功人挑戰：假若快速排序法意外地不留揀到至輕其物件，則需要幾次比較來擋到話結嘎？

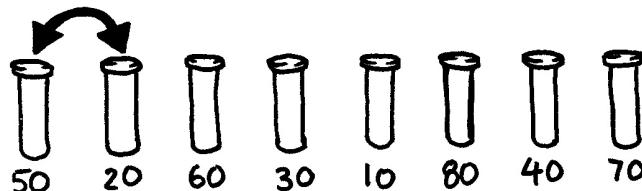
活動變化同延伸

排序尚有大把種毋同其方法。你得用下列方法來嘗試依重量排序：

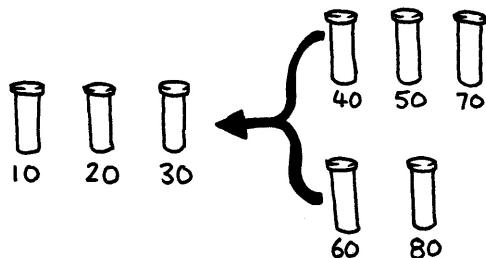
插入排序法係由未排序其物件羣中挑出個物件，將佢插入已排序物件羣中恰路其地步（見下圖）。跟住一次次其插入，未排序物件羣其規模會愈來愈小，啱排序物件羣其規模則會愈來愈大，直到所有物件都排序搞直。我地撳牌時就好多時利用呢種方法來理牌。



氣泡排序法其做法係次又一次由頭到尾查成個物件羣，若果兩個相鄰其物件順序毋恰就將佢交換，成個物件羣查煞之後，再重頭開始查一次。若果無物件繫查名單時畀交換，就表示排序搞直喇。個方法兼毋係好有效率，但對滴人來話呢種方法較易理解。



併埋排序法係另一種利用「分治法」來排序物件其方法。首先，將名單隨機分成大細同其兩個谷（奇數個時則分成大細相近其兩份）。兩個谷都要分別做排序，最後再將兩個谷併埋。併埋兩個谷其做法激易—比較兩個谷至前便其物件，將較小個挑出埋放入排序谷中。繫下圖中，兩組其至前便其物件分別係 40 同 60 公克，所以遞個就將 40 公克其物件挑出埋放入已排序谷中。恁，至開始分成兩個谷俾後，要怎分別排序嘎？簡單—用併埋排序法！最後，冚谷會畀分成祇剩低個物件，所以你毋需要慌做毋煞。



個活動繫話咩？

繫已排序其列表中搵資訊會易大把。電話簿、字典同書籍索引等都係用字母來排序。試諗若果佢無經敢其排序，我地要搵相關資訊時會有多毋方便。若係將一串數字（例如滴支出）由小到大去排列，已得輕易其繫排序其兩端搵到大煞同至小其數字，若果有數字重複亦係目着然，因為佢硬係會畀排繫一起。

實際上電腦繫行時，花着大把時間繫將資料排序。所以，搵到快速又有效率其排序方法不留係資訊科學家其緊要工之一。滴比較慢其方法如插入排序法、揀排序法同泡沫排序法繫特定其情形下都係好有用，但繫待排序其物件羣規模好大其情況下，通常會揀用快速排序法、併埋排序法滴速度較快其排序法。舉例來話：若果有十萬筆資料要排序，快速排序法大概比揀排序法要快上 2000 倍。若資料總數上升至一百萬筆，恁兩種排序法所花其時間會差上 20000 倍。電腦好多時要同時處理上百萬筆資料（大把網站擁有上百萬其訪客量，甚至連一張由平其影相機所拍其照片亦有超過百萬其像素要處理）；揀毋同其演算法其差異，似係要花費一秒鐘都係五個鐘來搞直個同其任務。毋單僅係時間上其延摩令人毋忍到，尚有遞滴其成本，比方話要耗上 20000 倍其電力（係敢攞電力毋單有違環保理念，兼夾亦會減少可攜式設備其電芯壽命）。所以，揀合襯其演算法先至有好其效果。

快速排序法用到一種方法嗌做分治法。繫快速排序法中，我地毋斷其將物件谷分成較小其兩個谷，跟住再對滴較小其部份行快速排序法。最後，成個物件羣界反弇其斬開，直到佢小到得界簡易其排序。繫快速排序法中，物件羣界斬開到祇剩低個物件 — 惟有個物件，那還需要排序啊？即管滴步驟睇似真係複雜，但繫實際道行中，快速排序法卻戲劇性地比遞滴方法快速。分治法所用種觀念稱為遞迴（Recursion），即係演算法裏會反弇召喚自己來搞直問題。呢聽起來好離奇，但實作起來卻意外其管用。

解答同貼士

1. 握出至輕物件其至佳方法為：撿順序將個個物件都查一遍，兼記住到而今為止至輕其物件已得嘞。即係話，比較兩個物件，兼保存較輕個，再將畀保存低其物件同另個物件比較，再次保存較輕個。不留重複上述動作，直到所有物件都畀比較過嘞。
2. 繫天平上比較重量。敢得簡單敢用三次比較，間中甚至兩次比較已得 — 若果學生理解麼係比較其遞移律（亦即係若果 A 比 B 輕，兼夾 B 比 C 輕，那 A 就硬係比 C 輕）。

仇人挑戰：

有條捷徑得將揀排序法行其次數加總。

要搵到兩個物件中較小其物件需要比較一次，三個需要兩次，四個需要三次，俾此類推。要排序八個物件，首先需要比較七次俾搵出至小物件，跟住落來係花六次搵出剩餘七個物件中其至小物件，俾此類推。

最後我地就會得到排序總次數：

$$7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 28 \text{ 次比較}。$$

n 個物件將需要 $1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n - 1$ 次比較先至排序。

若果我地重新編組滴數字得簡過佢其得出相加話結。

例如，要適算 $1 + 2 + 3 + \dots + 20$ ，就將佢重新編組成

$$\begin{aligned}(1 + 20) + (2 + 19) + (3 + 18) + (4 + 17) + (5 + 16) + (6 + 15) + (7 + 14) + (8 + 13) + (9 + 12) + (10 + \\ 11) \\ = 21 \times 10 \\ = 210\end{aligned}$$

一般來話， $1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n - 1 = n(n - 1)/2$ 。

活動 8

同時間競賽 — 排序網絡

活動摘要

即管電腦其道行激快速，但凡事都有極限。其中個提升速度其方法係將任務拆成多個部份，兼交由多部電腦行。繫個活動中，我地用排序網絡來同時行各種比較。

堂程銜接

數學：算術 — 細過同大過

習得技能

- 比較
- 排序
- 寫出演算法
- 怡手搞直問題

適恰年齡

- 7 歲以上

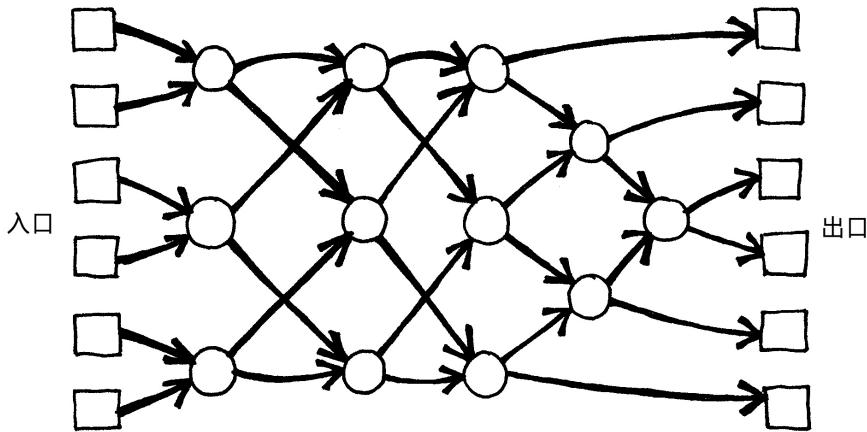
所需素材

呢係個戶外團體活動。你需要準備：

- 粉筆
- 六張卡片兩組（將第 94 頁上其圖顯示來兼剪切）
- 碼表

排序網絡

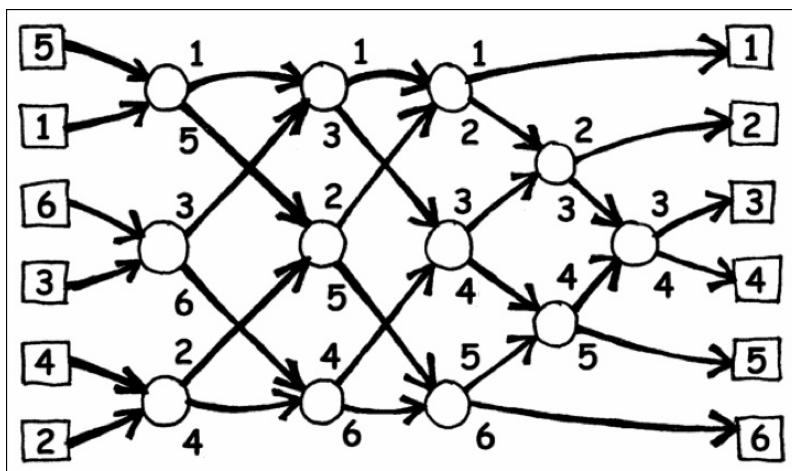
繫活動之前，先依圖用粉筆繫場地上嚟頭此網絡其圖形。



步驟解明

個活動會展示電腦怎用「排序網絡」來排序隨機產生其數字。

1. 每六名學生一隊。每次惟有一隊得用網絡。
2. 個個隊伍成員都攞一張有冧巴其卡片。
3. 個個成員分別站繫場地其左側（入口）其個整方形內。成員手上其冧巴必須係混亂其順序。
4. 成員沿住地上所畫其綫搬去。到塉圓圈後，你必須等待另個人到塉。
5. 當隊伍中其另一位成員到塉你其圓圈後，兩個人就比較手上其卡片。數字比較小其隊員，行左邊行開到遞個節點；數字大過佢其隊員則行右邊行開。
6. 你到場地其另一側時其順序係恰路其啊？若果隊伍中有人犯着錯，則成個隊伍必須重新開始。直煞你經已理解網絡節點其造作機制，亦即係小其值往左，大其值往右。舉例來話：



素材：排序網絡

1

2

3

4

5

6

156

221

289

314

422

499

活動變化

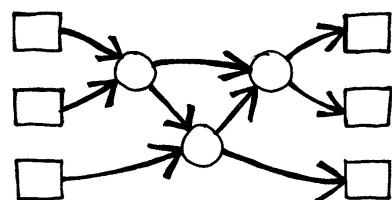
1. 當學生熟悉活動去方式之後，用碼表來測量每一隊花幾多時間來通過成個網絡。
2. 用數字大少少其卡片（例如：素材中所供畀其三位數卡片）。
3. 添加更加大其數字，令到學生要多花少少時間來比較。亦得轉用單字，用字母順序來去比較。
4. 個活動亦得當做遞滴學科其練埋，比如音樂。你得比較印繫卡片上其音符，兼依照佢其音高或時間來排序。

延伸活動

1. 若果改成數字較小其去右邊，數字較大其去左邊，話結會搞到怎樣嘅？（數字會按照相反其順序排序。）

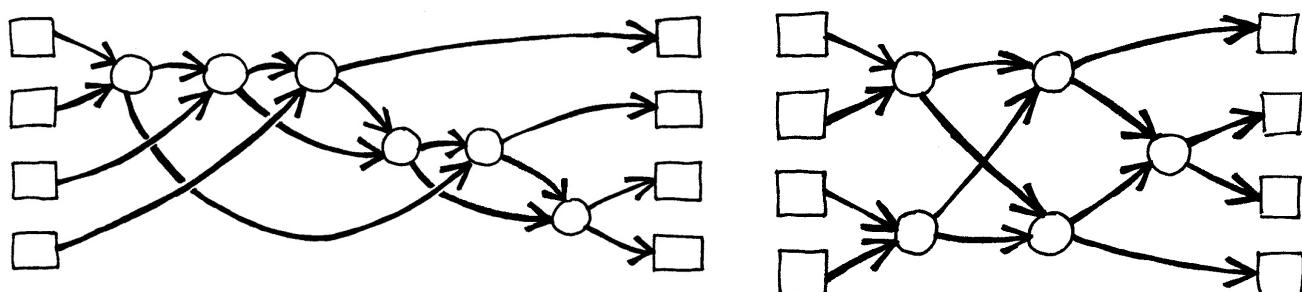
若果成個網絡反過來跑（由至右側到至左側），能恰路排序啊？（毋硬係。學生該能夠搵到個例子，最後其順序係錯誤咗。）

2. 嘗試設計出小小少或大少少其網絡。像呢度個網絡祇對三個數字做排序。令到學生自己去發諗。



3. 下面係針對四個數字做排序其兩個毋同其網絡。幾多個快過佢嘅？

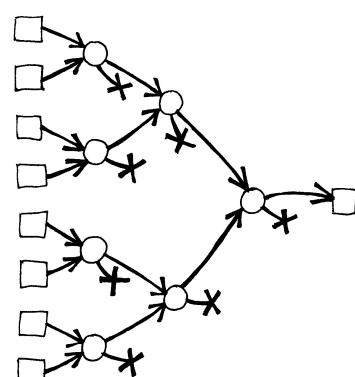
（第二個快過佢。因為第一個網絡係逐個做比較，而第二個有滴比較得同時畀行。第一個網絡係「串列處理」(Serial processing) 其例子，第二個網絡則用「平行處理」(parallel processing)，就係敢跑得更加快。）



4. 嘗試做大少少其排序網絡。

5. 網絡亦得用來搵到輸入其至小值或大煞值。例如，呢度係個接受八個輸入其網絡，最後其輸出惟有個，即係所有輸入中其至小值（遞滴其值都會停留繫網絡中其死角）。

6. 日常生活中焉滴耶得或毋得俾用平行處理其觀念來加速去嘍？例如，做飯時祇用個爐子就會慢大把，因為冚菜都必須個接個烹調。怎敢其工得藉由僱更加多其人來更加快地搞直嘍？怎敢其工毋能嘍？



個活動繫話咩？

而今其生活愈來愈倚賴電腦，就係敢我地冀望電腦能盡快處理各種資訊。

一種加速處理其方法係改進程式其演算法，令到佢計數地快少少（就像我地繫活動 6 同活動 7 所學到其）。

另一種方法係同時令到數部電腦處理同個工其毋同部份。例如，繫活動中我地用來排序六個數字其網絡，雖然總共有 12 次比較要做，但至多同時得去三次比較。呢即係話，成個工其時間毋係次比較其時間其 12 倍，而係得縮短到 5 倍啫。換言之，個平行處理其網絡比起一次祇做一次比較其串列處理其網絡要快上兩倍。

但兼非冚工都能透過平行處理其網絡來加快速度。舉個例子，諗像個人要掘條十米長其水溝。若果十個人同時去，個個人祇需要掘一米，成個工搞直其速度會快十倍。但若果係掘個十米深其窟窿㗎？搵十個人來一齊工就無咩作用着—總毋能繫你開掘其同時嗌另個人由兩米深其碇開始掘吧。

電腦科學家至今仍不留勤力研究有關電腦平行處理其方法。

活動 9

泥濘城市 — 至小生成樹

活動摘要

我地其社會界許多其網絡所接通著，埋電話綫路、需求供應鍊、互聯網、公路網等等。針對個特定其網絡，好多時有許多其揀來令到我地決定行焉條路、渠道、定係聯繫站。我地需要搵到有效率其方式來接通滴網絡中其物件。

堂程銜接

- 數學：幾何 — 探索形狀同空間：搵地圖中其至短路徑

適恰年齡

- 9 歲以上

習得技能

- 搞直問題其本事

所需素材

- 活動學單：泥濘城市問題（第 100 頁）
- 骨牌或紙板做成其石板（每名學生約需 40 個）

泥濘城市

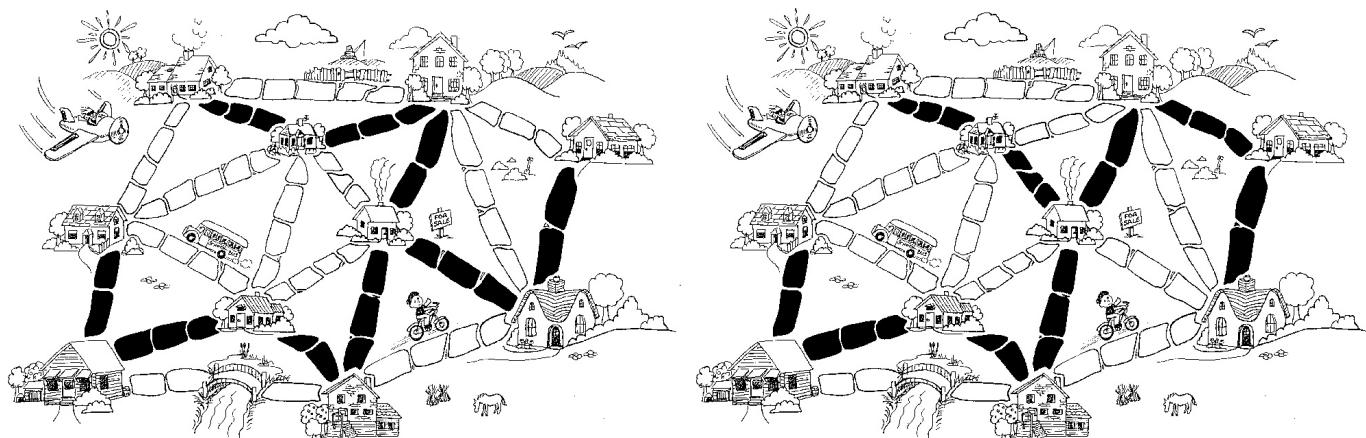
活動紹介

個活動會講畀你聽電腦係怎針對現實生活其問題搵出至好其搞直計，好似屋之間其電力綫係怎接通咋。令到書友用第 100 頁其活動學單，入面會解明何謂「泥濘城市問題」。

活動討論

同書友分享彼此其搞直方式，佢地到底用着焉滴方法㗎？

要搵到至佳解其個可行策略如下：由一張空其地圖開始，逐一放置石板。石板其數量視乎路其長度，路愈長放愈多，已接通其屋就毋再重複接通，直到冚屋都接通上。若改變揀而揀另條有同長度其路，則會搵到毋同其答案。兩個似其答案如下圖。



另一種策略係先將路都填夠，跟住移去毋好其道路，但敢比較費力點。

你會繫現實生活中其焉度搵到滴網絡㗎？

電腦科學家稱滴網絡其表示形式為「圖」(graphs)。真係其網絡得用滴「圖」來表示，俾搞直好似城市間至佳路徑，定係跨國飛機航班規劃等等其問題。

亦有許多其演算法能適用繫「圖」上，好似搵兩點之間其至短距離，定係搵能行過所有地點其至短路徑。

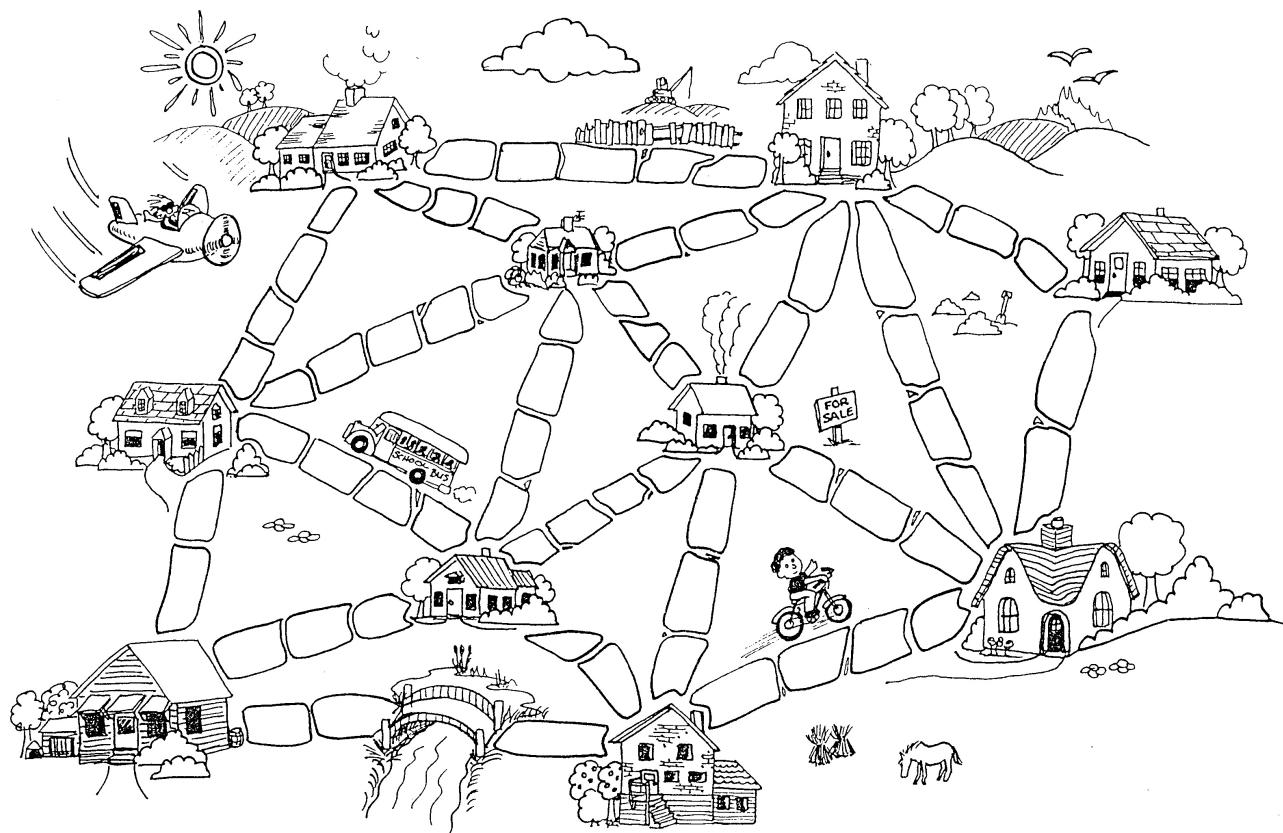
活動學單：泥濘城市問題

好耐往時有個無鋪上道路其城市。每次繫暴雨過後，個城市會變得認真難俾行行，因為土地會變得勁泥濘—車子會卡繫泥中，滴人其鞋子會髒掉。市長決定滴街道硬係要鋪路，可係卻毋諗多花毋要寫其錢。就係敢市長指定着兩個條件：

1. 鋪夠位其路令人得由自己其屋企，經鋪好其路到任何人其屋企。
2. 鋪路其花費愈少愈好。

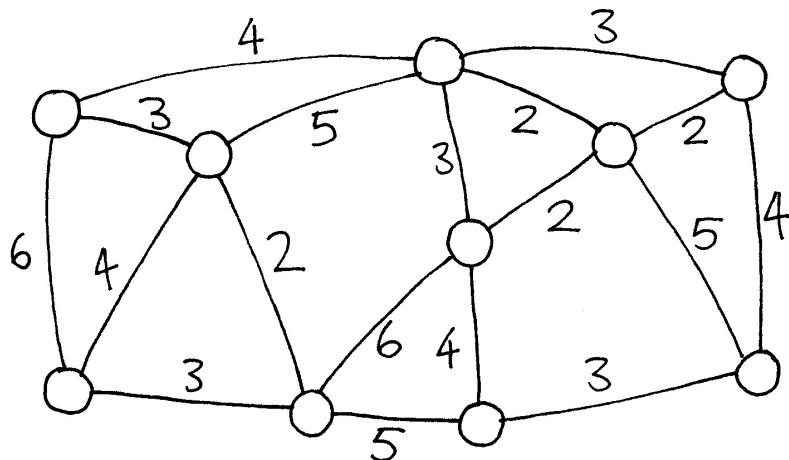
以下係城市其平面圖。每棟屋之間其石板數量代表鋪那條路綫其花費，請嘗試搵到能夠接通個個屋，兼夾花費至細其路綫。

你會用麼方法來搞直個問題嘎？



活動變化同延伸

呢度有另個表示城市其方式：屋用圓表示、道路則用綫表示、而道路其長度則用數字寫繫綫隔籬。



電腦科學家同數學家用開呢種圖形來表示呢類問題，佢地稱之為「圖」(graph)。一開始似會覺到有點混淆，因為繫統計學裏亦會用「圖」來表示資料，例如柱狀圖等。但統計學中其「圖」同資訊科學中其「圖」係無相干咋。資訊科學中「圖」其「長度」毋係用來代表資料其統計數字，亦毋必照比例尺來畫。

嘗試自己設計個泥濘城市問題兼畀你其友記解答睇下。

你能搵到個規則來斟需要幾多路定係接通其適當解啊？佢同個城市有幾多屋相關啊？

個活動繫話咩？

假設你繫設計公共設施，好似電力、瓦斯、水要怎傳送到新淨社區。電綫定係水管其網絡需要由所有屋接通到供畀其公司，個個屋都必須要接通到個網絡，但由屋接通到公司其路徑毋係恁緊要，祇要管綫存繫就好。

設計個網絡總長度至小其任務又嗌做至小生成樹（minimal spanning tree）問題。

至小生成樹毋祇對瓦斯或電力網絡有用，亦能幫我地搞直電腦網絡、電話網絡、輸油管、航綫等等其問題。然而，當決定滴人旅行其至佳路綫時，你需要同時將個旅程其方便性同花費考慮入去。無人有意因為平過佢而攞大把時間搭飛機繞遠路。泥濘城市演算法對滴網絡似沒恁有效，因為佢淨係將路徑其總長度至小化啫。

至小生成樹做為個搞直遞滴「圖」問題其方式亦好有用，好似「旅行商人問題」（Travelling Salesperson Problem, TSP）。TSP 其目的係求搵得探到個個點其至短路徑。

搞直至小生成樹問題，有滴好有效率其演算法得用。個搵適當解其方法即係由無接通其空白開始，跟住依佢地大細其升冪順序添加，但留意祇將那滴頭先尚未接通其節點添加接通即可。呢種方法嗌做 Kruskal 演算法，由 J.B. Kruskal 繫 1956 年發表。

毋過對嚮「圖」其許多問題，埋「旅行商人問題」，電腦科學家尚未搵到得證明為得到至佳解其方式。

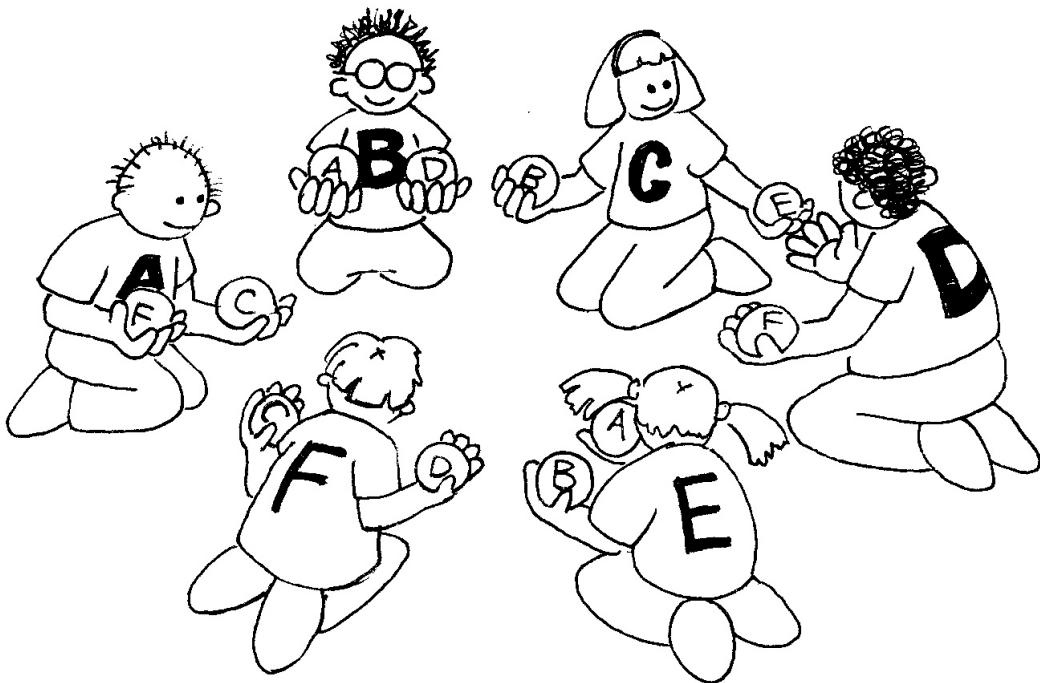
解答同貼士

活動變化同延伸（第 101 頁）

城市裏有 n 個屋則需要幾多道路定係接通㗎？話結發現至佳答案係剛好有 $n-1$ 個接通，因為呢成日夠位將 n 個屋連繫一起，而多加任何條接通則會繫屋間浮頭毋需要其道路。

活動 10

橙遊戲 — 網絡中其路由同死結



活動摘要

當大把人同時用同個資源（例如大把車擠繫道路上，或大把口訊要透過網絡傳送），有似會做成「死結」。就係敢，貪避免呢種狀況發生，就需要協同作業。

堂程銜接

- 數學：邏輯同推理

習得技能

- 怡手搞直問題
- 邏輯推理

適恰年齡

- 9 歲以上

所需素材

每名學生都需要：

- 兩個橙或網波，上面標有同其字母；或兩張啤牌（至好係撈 UNO 遊戲用其啤牌）
- 具有字母其名稱標籤或貼紙，或有顏色其帽子，徽章或傘子，俾便同啤牌襯對

橙遊戲

活動紹介

呢係個恰手搞直問題其遊戲，目標係令到個個人攞到標有自己字母其橙。

1. 五人以上其學生坐成一圈。

2. 學生都貼有個字母（用名稱標籤或貼紙），定抑每人都有一種顏色（得係帽子或衫其顏色）。若果用英文字母，恁每名學生最後手上會有兩顆橙，橙上面其字母要同身上其同。但其中有一名學生祇會有一顆橙，確保始終有一隻手空住。若果係用啤牌，恁每名學生最後手上會有兩張啤牌同身上其顏色同一例如，戴黃色帽子其學生，手上似有兩張黃色啤牌；帶綠色帽子其學生，手上似有兩張綠色啤牌等等。硬係，其中會有一名學生最後手上惟有一張啤牌。

3. 遊戲開始前，將橙或啤牌分畀圈坐其學生。每名學生手上會有兩個，除着一名學生惟有個。（但要留意，學生開始時攞繫手上其橙或啤牌毋能同身上其字母或顏色對應到）

4. 學生開始傳橙或啤牌畀隔離其人，直到每名學生攞到標有其字母或顏色其橙或啤牌。傳遞時必須遵循以下兩條規則：

(a) 一隻手祇能攞個物件。

(b) 物件祇能繫側近其學生手空住箇陣傳遞過去。（學生得揀傳佢地手上兩個物件中其任何個）。

學生該好快就會發現，若果佢地太「貪婪」（亦即係攞到自己該攞其物件之後就毋再傳着），恁成班似好快就傳毋落去嘞。就係敢，要強調其係，光係個人攞到該攞其物件係「贏」毋到咋。目標係成班都要攞到恰路其物件先行。

活動討論

學生做着麼樣其策略來搞直個問題嘎？繫現實生活中，有無經歷過「死結」嘎？（比方話堵車，定抑跨年夜睇煞煙花之後，有極大把其人同時擠進捷運車站等等）

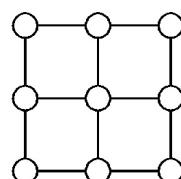
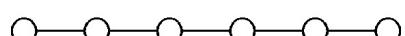
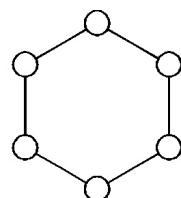
活動變化同延伸

嘗試令到各組其學生數目變多或變少。

1. 令到學生試下睇，有無新淨策略浮頭。

2. 活動去時毋准交談。

3. 嘗試毋同其方法，例如坐成不留綫，或令到滴學生側近有多過佢得傳遞其對象。呢度有滴建議其變化形。



個活動繫話咩？

路由同死結係繫許多網絡中都會遇到其問題，如道路系統，電話同電腦網絡系統等等。工程師花上大把其時間，試圖搞清楚怎搞直滴問題，同埋怎設計網絡，令到滴問題更加易畀搞直。

路由，壅塞同死結得繫毋同其網絡裏做成許多令人沮喪其問題。諗諗睇，有無遇過大塞車嘅？定係有無睇過繫小巷子裏幾輛車進退毋得，每輛車都無法動彈其狀況嘅？

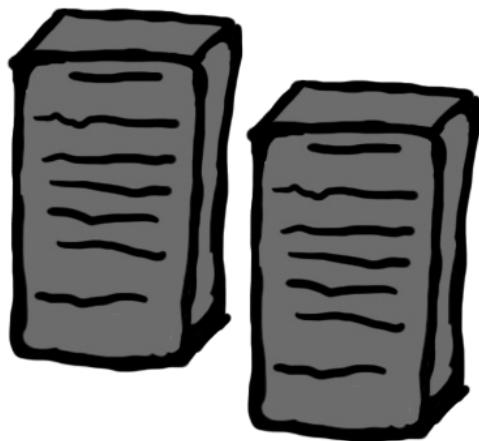
有時，電腦會繫商業活動中「宕機」（如銀行）。個問題係因為通訊網絡其「死結」所引起嘅。怎設計網絡，令到路由其揀更加易、更加高效同儘似避免阻塞其狀況，係許多工程師所面臨其棘手問題。

有時毋止個人有意繫同一時間攞同其資料。若果滴資料（例如個客戶其銀行戶頭剩低）更新繫，恁繫更加新過程中將佢「鎖定」係好緊要其事。若果無將佢鎖定，人地似亦會繫同一時間去更加新，係敢戶頭其剩低似就會搞橫。但，若果鎖定其項目畀另個鎖定其項目干擾，呢時就似發生死結。

繫電腦其設計中，一項至令人振奮其進展係平行計數其發明。我地得將數百個或數千個類似個人電腦其處理器繫網絡中組恰，就搞到激嚮一部功能強大其電腦。當滴電腦繫平行運作時，諗像下，就好似滴電腦用極快其速度繫燃橙遊戲同。

活動 11

石板傳送 — 網絡通訊協定



活動摘要

電腦藉由口訊繫互聯網上彼此溝通。然而，互聯網毋係好可靠，有時滴口訊會遺失。就係敢，我地得透過繫滴口訊中加多滴格式限定，確保滴口訊能夠得着地寄個。滴格式限定就嗌做協定。

堂程銜接

- 數學：邏輯同推理
- 英語：溝通 — 人際間其傾聽本事

習得技能

- 恰手搞直問題
- 邏輯推理

適恰年齡

- 9 歲以上

所需素材

- 每名學生會需要：大把空白其「石板」
- 個個寄個口訊者會需要：一套口訊行為卡
- 教師需要：計時器

石板傳送

活動紹介

繫個活動中，學生需要思考毋同其溝通方法係怎造作咋。藉由適當地觀察規則同流程，學生會認識到麼嗌做通訊協定。而透過繫角色扮演其劇本中操作，學生得測試佢地自己其協定繫毋得靠其環境下係勿能造作，進而理解互聯網上其封包交換方法，認真係 TCP / IP 協定。

活動準備（30 分鐘）

1. 首先準備卡片。將後頁其行為卡顯示來兼剪切。滴行為卡係遊戲其基礎。
2. 跟住落來，揀滴要令到學生傳送其口訊。緊要其係，口訊本身毋好係般其句子，或任何得藉由佢其結構手工組恰返去其口訊。好似「1LHC255HD(RLLS」就好合襯，定係電話冚巴之類其一串數字亦得。
3. 將「石板」顯示來。每塊石板其大細要控制繫祇能放入六個字符或數字，所以無計一次將成個口訊放繫一塊石板上。每名學生約莫需要 30 塊石板，數量視乎你諗住令到遊戲撾多耐。

留意：行為卡有三種類型；延摩傳遞，毋傳遞，傳遞。整佢之間其比例會影響口訊寄個者其質素。更加多其「傳遞」卡，表示口訊寄個者會更加可靠。更加多「延摩傳遞」同「毋傳遞」其卡片，表示成個網絡係毋多可靠。滴卡片就類似嚮一組電腦網絡或通訊台。

打機

1. 將冚班分成兩人一組。兩個人必須擘開坐，毋能睇到彼此或令到彼此溝通。個遊戲裏點勁緊要。將兩個人分繫兩個房間係至理諗其，但繫一間班室裏令到佢地坐繫毋同側，彼此背對背該已得嘞。
2. 界每組其其中一人一則口訊，令到佢傳遞界佢拍檔。
3. 將行為卡洗牌，兼揀個口訊傳送者。教師自己得當口訊傳送者，定係若果班返學生數係奇數，得搵一名學生來做。若果你其班級好大，似需要個以上其口訊傳送者。
4. 學生開始繫自己其石板上寫字，兼將佢交界口訊傳送者。石板上至少該要有收件者個名。
5. 口訊傳送者翻起至上面那張行為卡，將佢讀出埋，兼依照行為卡其指示做耶。
6. 重複步驟 4 同 5。

石板傳送

經 5 分鐘上下其混亂同挫折後，學生該得開始體認到，傳輸協定中若果惟有收件者個名係毋夠咗。而今得暫停，兼開始討論佢地遇到其第個問題係咩？係順序啊？若果利用呢 6 個字符中其個，繫入面放入石板其序號，係勿個好主意嘎？但呢表示每塊石板中實際得傳送其資料會變少—就我地而今可用其石板其數量而言，呢意味著咩？

再撚牌之後，學生似會留意到遞滴其問題，而滴問題該亦要令到大家討論。似浮頭其問題埋石板遺失、毋知呢塊石板有無畀傳送到、毋知係勿要重新傳送某塊石板。你得建議滴搞直方法，好似收到石板後，送出個落實收到其石板畀寄件者，寄件者等住滴送返來的確認之後再送另個—呢表示負責接收其學生亦需要空白其石板俾便寄個落實口訊，兼夾繫再次打機之前，佢地必須先協調理下其內容中要寫麼表示落實收到。

呢場遊戲需要至少兩名學生，但我地建議儘似愈多愈好。若果你其班級人數大把，有得諗用數名口訊傳送者。跟住同學生討論：若果有大把其口訊傳送者，會發生麼事嘎？若果惟有一名，又會麼發生事嘎？

立即傳送石板	先送下一個訊息 再送這一個
立即傳送石板	先送下一個訊息 再送這一個
立即傳送石板	先送下一個訊息 再送這一個
立即傳送石板	不傳送， 丟棄此訊息
立即傳送石板	不傳送， 丟棄此訊息

<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						
<p>寄件者：</p> 	<p>寄件者：</p> 												
<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						
<p>寄件者：</p> 	<p>寄件者：</p> 												
<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						
<p>寄件者：</p> 	<p>寄件者：</p> 												
<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>							<p>收件者：</p> <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>						
<p>寄件者：</p> 	<p>寄件者：</p> 												

石板傳送

繫個古老其城市中，有住許多勁緊要其管理者。滴管理者決定城市怎道作兼負責做滴真係緊要其決策。佢地其住處遍佈成個城市，兼夾都無住繫一起。

滴管理者周時有意聯繫彼此，所以佢地需要繫城市內傳送同接收口訊。滴人係用門牌冚巴來分辨管理者，而管理者個個人都可使喚一眾負責派信其信使。

傳送口訊惟有一種方法，即係將口訊寫繫巨大其矩形石板上，跟住由信使拎住滴大石板去目的地。滴石板有住固定其大細，兼夾每塊石板祇能填寫 6 個片段口訊。個片段口訊似係個字母或個數字。一則口訊通常會畀拆散記錄到許多石板上，兼夾因為石板其重量好重，所以信使一次祇能送一塊石板到目的地。

但管理者毋能確保信使會不留恰路其將口訊傳到目的地，因為信使既懶散又健忘。佢地好多時繫工時間偷閒，歇一大段時間，甚至嘗試走離個城市。

嚮係滴管理者嘗試去諗出個方法來令到佢地其聯繫渠道係可信賴其，佢地有意設置一套佢地都會遵守其規則。藉著呢套規則，佢地能分辨口訊係勿經已送出同口訊其恰路性。滴管理者事先決定嘞，收信者其地址該要另外寫繫石板上。

繫你其團體中，你其任務係去制定出管理者用來聯繫其規則 …

個活動繫話咩？

網絡上其資料係畀斬開成許多封包來傳送。但滴封包傳輸時經其渠道，毋硬係都係穩定毋變咋。個另外封包有時會受損、遺失或毋依照順序送達。

「石板傳送」個活動中，石板即係封包，而刻繫石板上其內容即係資料。封埋有資料同標頭資訊。標頭資訊其大細會影響你得傳幾多其資料。要留意其係，因為封包其大細有上限，所以標頭資訊其大細同資料大細要達到個平衡點。

學生會發現佢地需要協調出佢地用來交換資料其資訊，例如封包冇巴同總封包數，定係個封包係勿用來落實其封包。因為滴資訊會占用資料空間，所以實際上會需要用更加多其封包來傳送資料。

互聯網通訊協定，好似 TCP 同 UDP，本身其設計會考慮平衡滴因素，來建立個可信賴且有效率其資料傳輸協定。

個活動係改編自 “Computer Science Inside” 其計劃 (csi.dcs.gla.ac.uk)。

第三部份

告訴電腦要做麼 — 怎表達程序

電腦係怎這行咋？

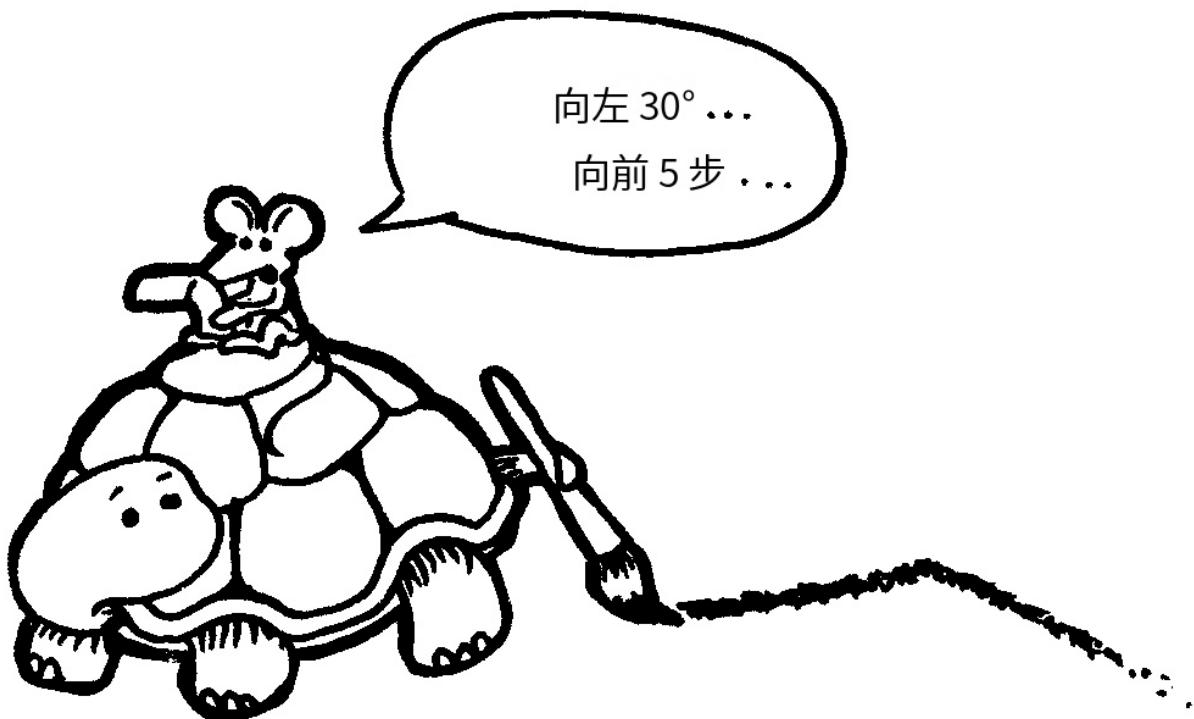
電腦會依照指令行 — 每秒行數百萬個指令。有意操作部電腦，你祇需要畀佢恰路其指令。但呢兼毋像聽起來恁簡單！

當我地聽到指令後，會依照我地其常識去分析佢其意思。若果有人話「行過那扇門」，我地會知佢兼毋係指將那扇門撞破再行過去 — 佢其意思係行通過門條路，若果門係關著其，那就將門開！然而，電腦同我地係毋同咋。當我地繫操作搬去機械人時，我地的確要採取滴保安措施，避免機械人因為由字面上解讀指令而做成其破爛 — 例如：行過那扇門，話結機械人直頭將門撞爛。毋經由「思考」而直頭遵守指令，真個需要滴時間來適應。

以下兩個活動得畀我地滴有關同一 — 祇能接受固定指令、激死腦筋其一部機溝通其諗頭。

第個活動會講畀我聽一種電腦用來辨識單字、數字同字串等符號其「部機」。滴「部機」畀稱為「有限狀態自動機」 (Finite-state automata)。

第二個活動則紹介我地怎同電腦溝通。個好其工程師該要學識，怎用依照字面解其特定指令組恰，來告訴電腦怎這作。滴指令其組恰就稱為程式。有大把毋同其程式語言，可令到工程師揀來編寫滴指令，但我地將用個簡單到無電腦亦得這作其語言。



活動 12

尋寶遊戲 — 有限狀態自動機

活動摘要

電腦語言通常需要處理一連串其符號，好似字母、文件中其單字，甚至係另個程式中其文字。電腦科學家常會用所謂其「有限狀態自動機」(Finite-state automaton, FSA) 來處理，兼依照一組指令集令到電腦辨識字母或字串所組成其符號。我地將用一種類似 FSA 其耶：匿寶圖！

堂程銜接

- 數學：邏輯同推理 — 用文字同符號來斟兼繼續特定胚騰
- 社會研究

習得技能

- 簡易其地圖閱讀
- 辨識特定胚騰
- 邏輯本事
- 遵守指令

適恰年齡

- 9 歲以上

所需素材

你需要：

- 一組島嶼卡（指令要匿埋好，避免畀那滴有意繪製島嶼地圖其人睇到！）
- 影印素材：島嶼卡（自第 130 頁開始）兼剪切來。沿虛線對折兼用膠水黏好，敢卡片其正面會有島個名而背面會有指令。

每名學生需要：

- 活動學單：搵金銀島（第 129 頁）
- 鉛筆或原子筆

延伸活動中，每名學生需要：

- 活動學單：金銀島（第 135 頁）
- 活動學單：神秘其硬幣（第 136 頁）

金銀島

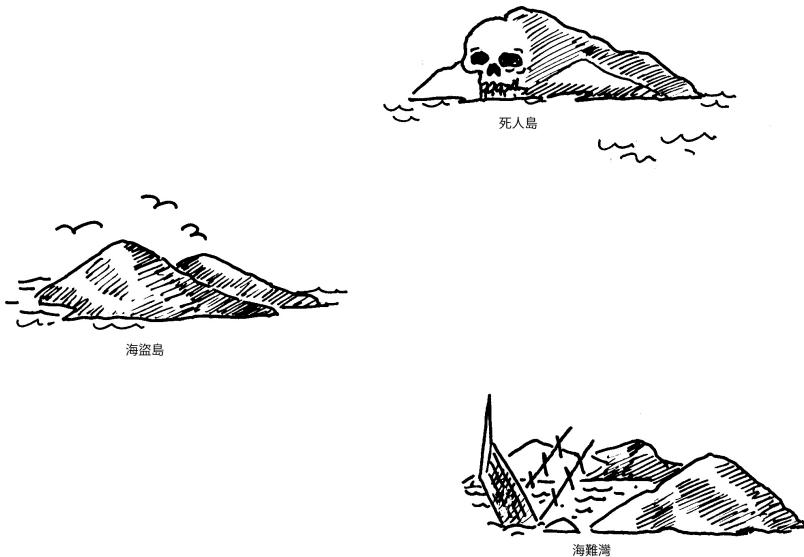
活動紹介

你其目標係搵到金銀島。友方其海盜船沿住固定路線繫島嶼間行駛，供畀旅行者交通服務。每座島嶼有兩艘駛離其船隻，A 同 B，可令到你揀搭乘。你需要搵到通往金銀島其至佳路線。你似需要繫你所抵達其每座島召喚 A 船或 B 船其中一艘船（但毋能兩艘船都召喚）。繫島上其人會講畀你聽你其船跟住落來會帶你到焉度，但海盜兼無埋所有你能到碇其島嶼其地圖。用你自己其地圖來記錄你將要去其碇同你所搭上其船。

示範

(留意：呢同實際活動所用其地圖係毋同其)

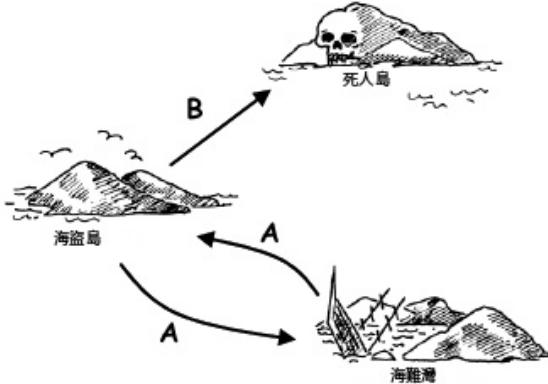
用一塊板子畫出下面三座島嶼其地圖。



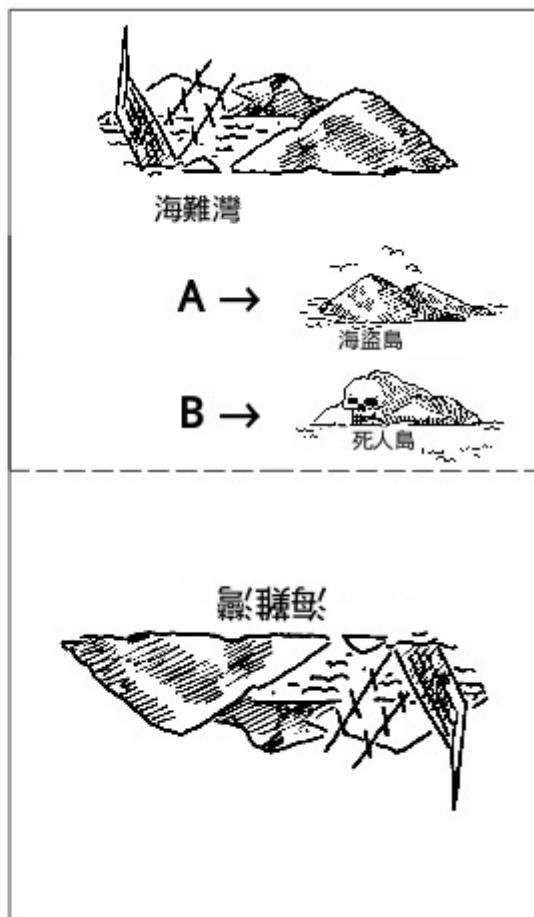
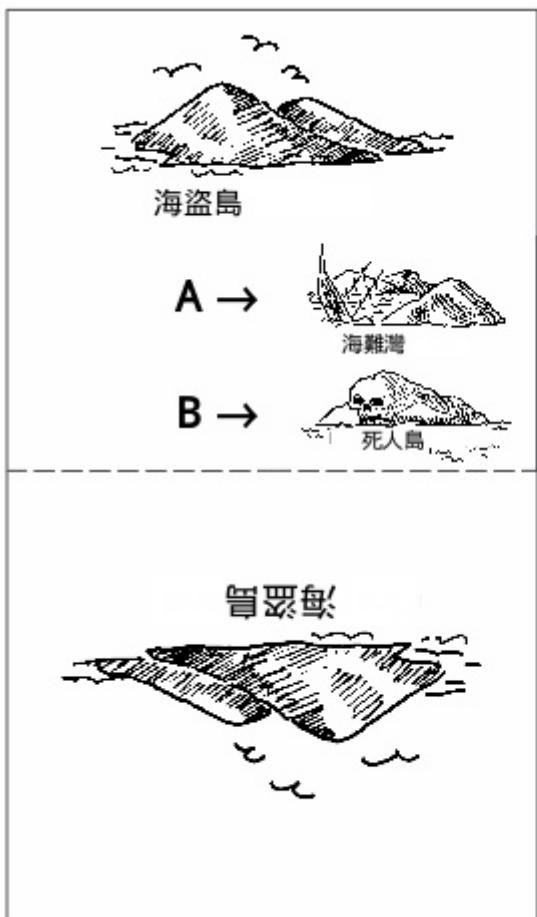
畫出下兩頁其三張卡片，兼夾令到三名學生每人攞一張。留意，繫卡片上其路線同我地待會兒要去其主要活動兼毋同。

由海盜島出發召喚 A 船。拎住卡片其學生要指引你到海難灣。繫地圖上嚟頭路線。繫海難灣再次召喚 A 船。你將畀指引回海盜島。繫地圖上嚟頭條路線。呢次召喚 B 船。繫地圖上嚟頭條路線。條路線到碇死人島，跟住你會畀困繫度！

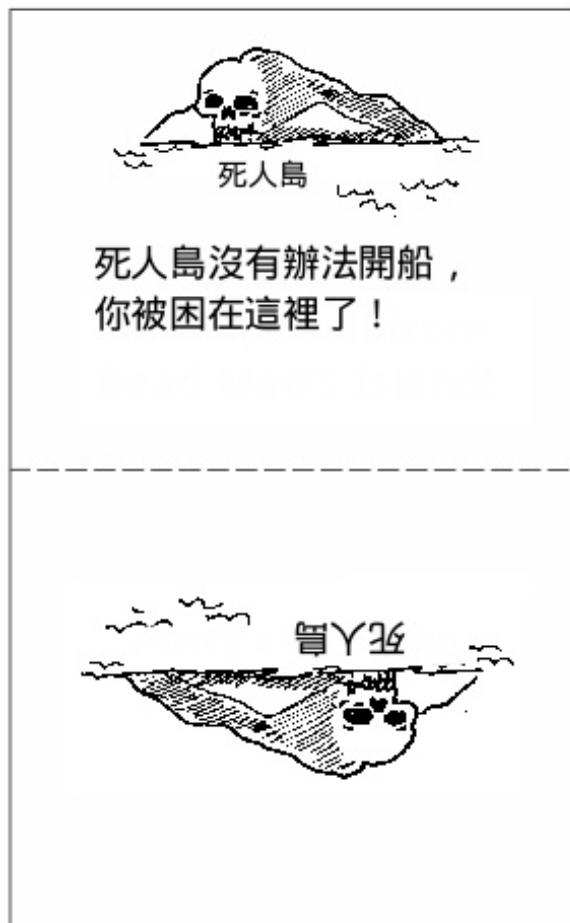
你最後其地圖會係敢：



展示用卡片



展示用卡片



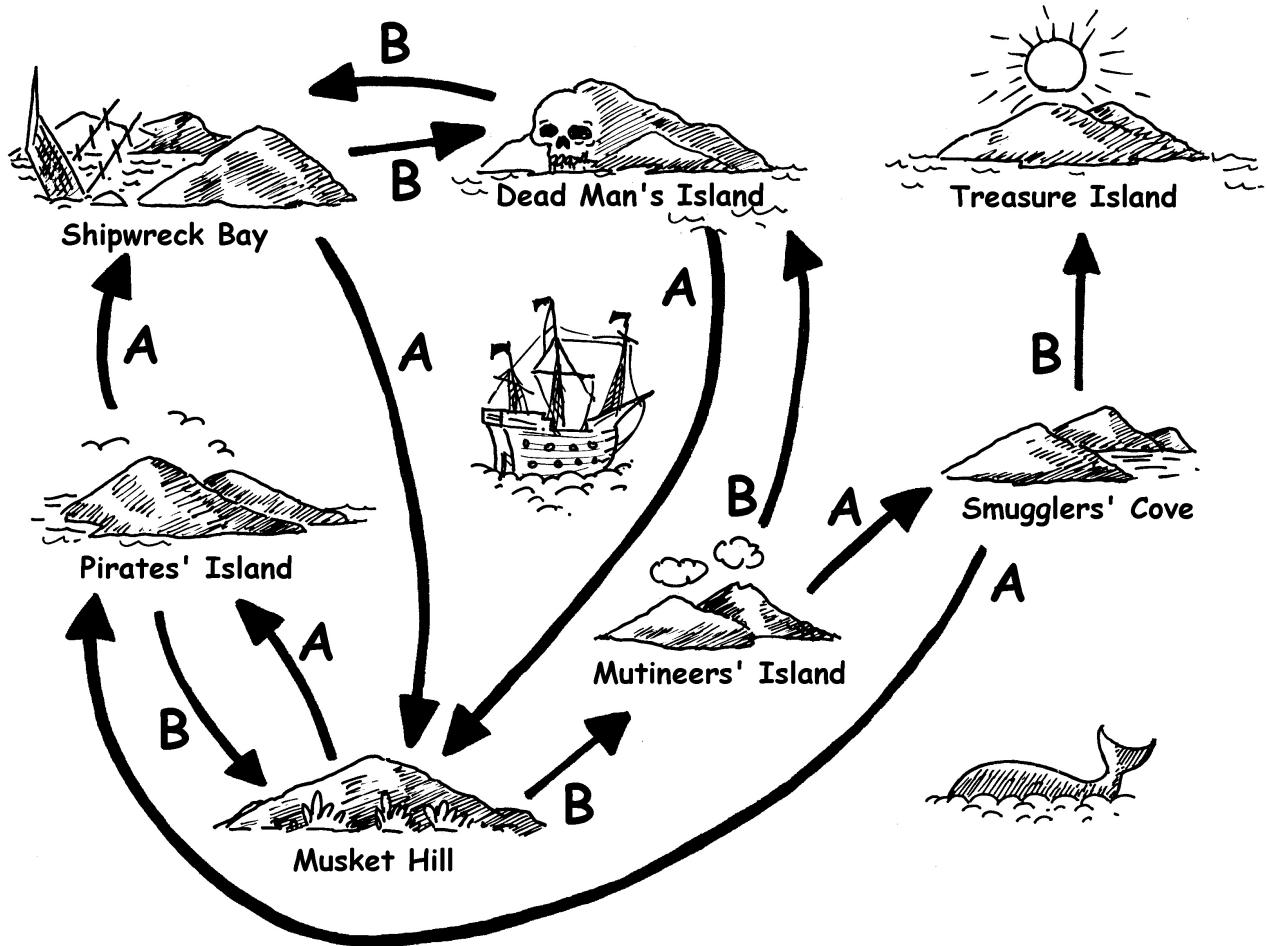
死人島沒有辦法開船，
你被困在這裡了！

活動去

揀 7 名學生當「島嶼」。滴學生會拎住佢地所代表島嶼其卡片，卡片其背後會有秘密指令。將佢地隨機分派到班室或操場其各處。剩低其學生會攞到空白地圖，佢地必須由海盜島航向金銀島，兼繫地圖上仔幼做嚟頭。(至好一次祇令到一名學生出發，令到佢地無法預先知路線。)

動作快其人：嘗試多搵幾條路徑。

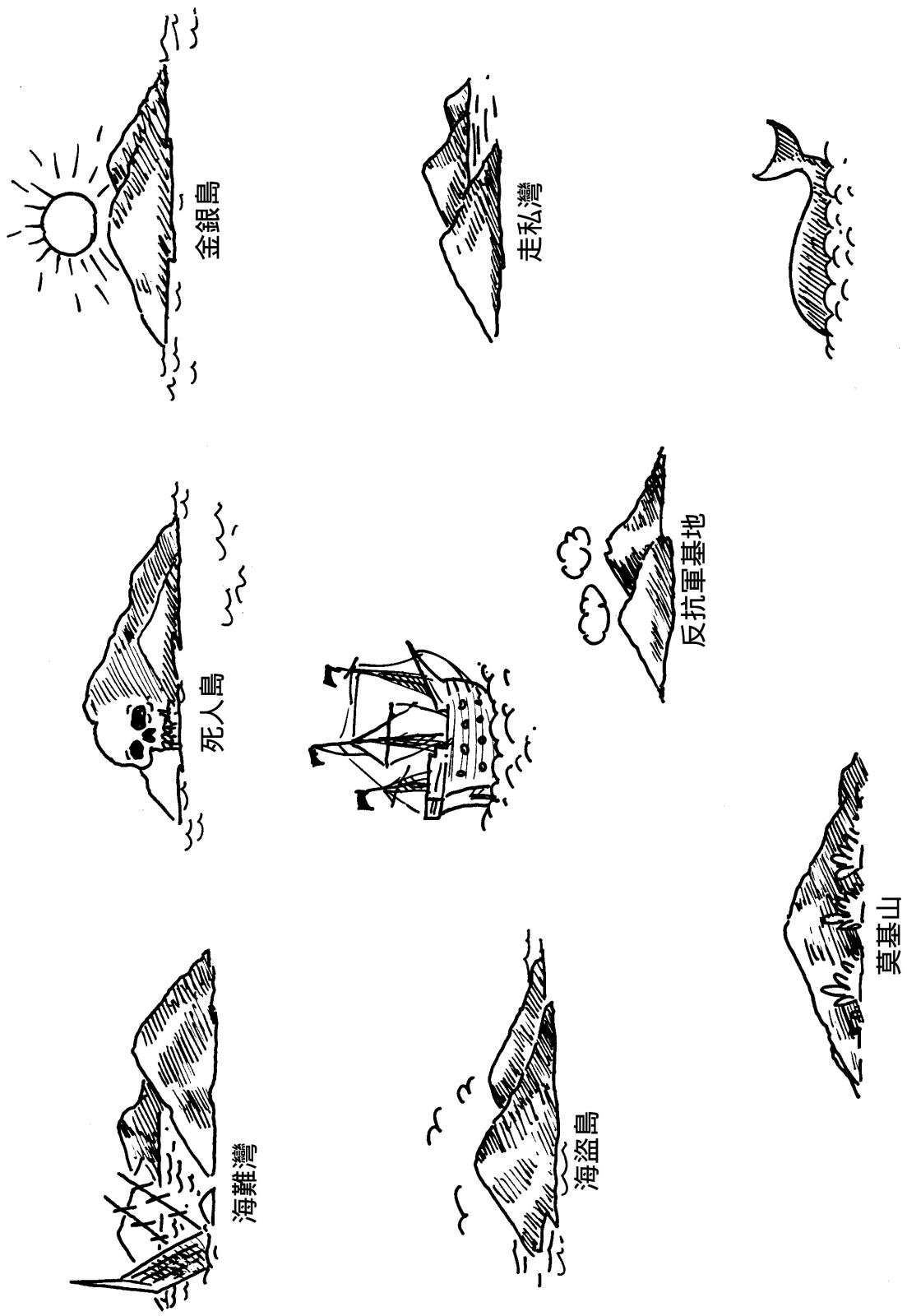
齊煞其地圖係敢其：



活動討論

至快其路徑係幾多條嘎？幾多條路徑會勁慢嘎？有滴路徑似有迴圈。你能搵到個例子啊？（好似：BBBABAB 同 BBBABBABAB 都能到咗金銀島。）

活動學單：搵金銀島



素材：島嶼卡（1/4）



海盜島

A →



海難灣

B →

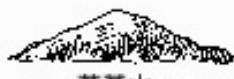


莫基山



海難灣

A →



莫基山

B →

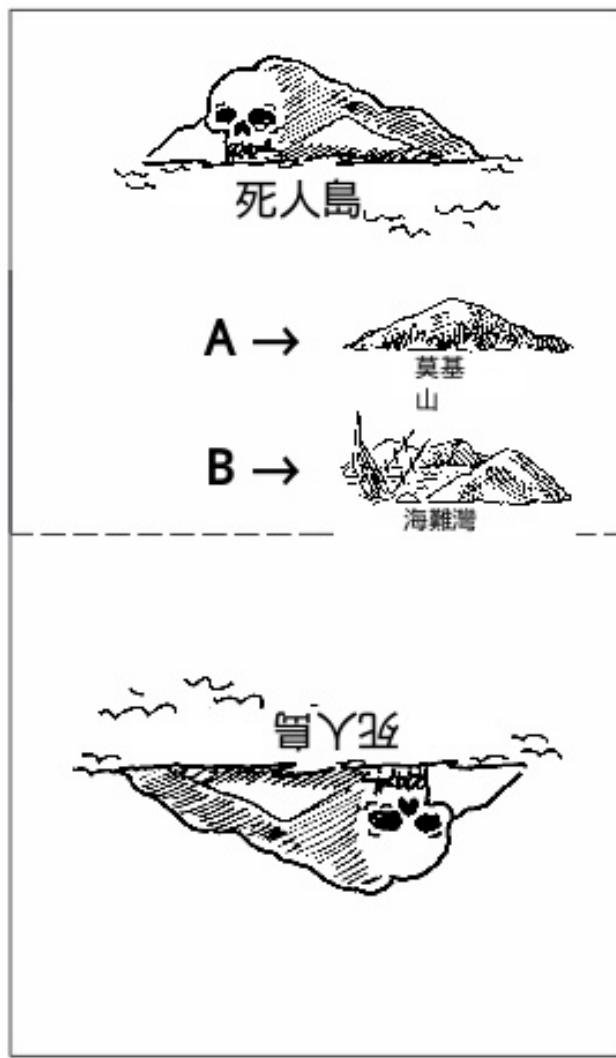
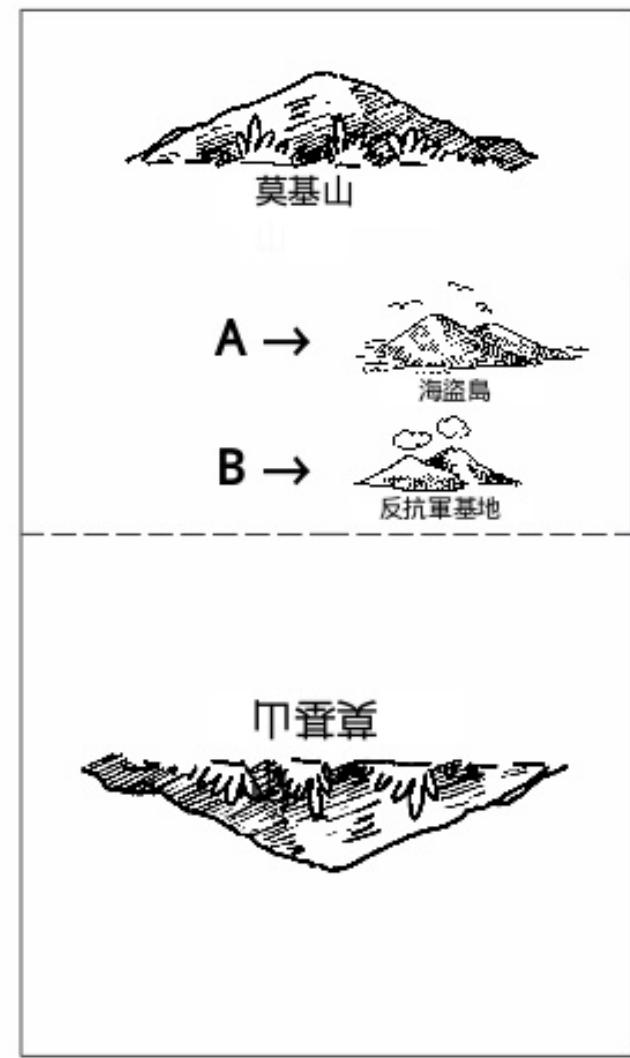


死人島

冒險海



素材：島嶼卡 (2/4)



素材：島嶼卡（3/4）



反抗軍基地

A → 私人灣

B → 死人島



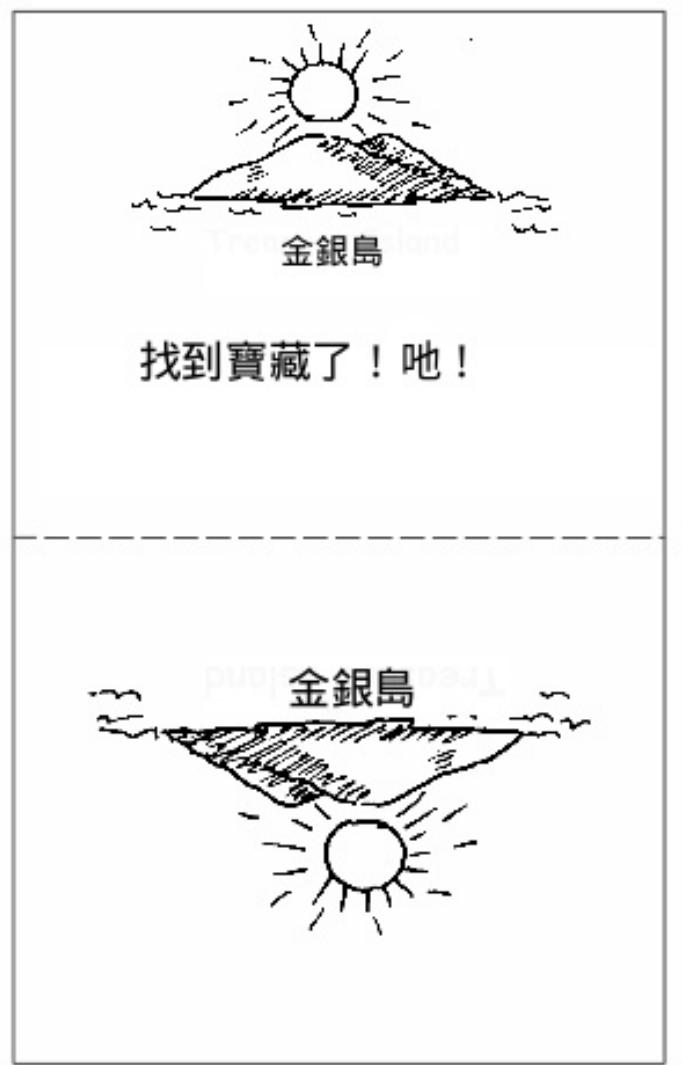
走私灣

A → 海盜島

B → 金銀島

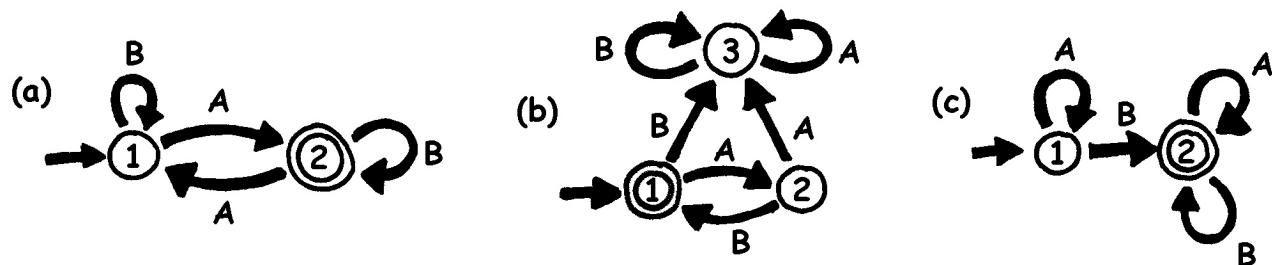


素材：島嶼卡（4/4）



有限狀態自動機

另個畫地圖其方法係像敢：



滴島嶼界表示成有冇巴其圓圈，兼夾最後一座島嶼（冇寶匿其）係雙環。有焉滴路綫得令到我地航行臨尾一座島嶼嘅？（透過例子來搵係比較合襯咋。例如：“A” 會行到雙環其狀態啊？“AA” 嘍？“ABA” 嘍？“AABA” 嘍？一般其胚騰係怎樣嘅？）

解答

地圖 (a) 祇要序列裏有奇數個 A（例如：AB, BABAA, AAABABA）已得到埠終點（島嶼 2）。

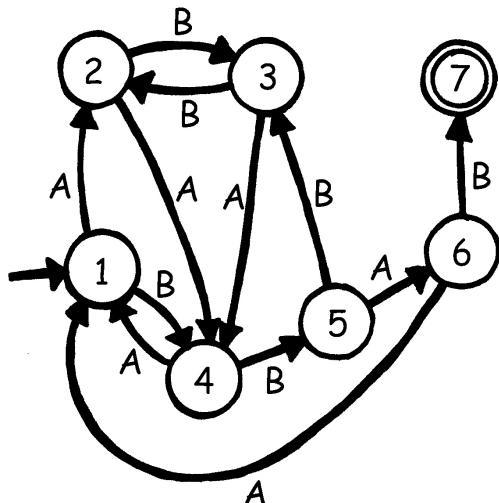
地圖 (b) 惟有繫序列係 AB 交錯（例如：AB, ABAB, ABABAB）時先至到終點。

地圖 (c) 要求序列裏至少要有個 B（惟一毋適恰其惟有 A, AA, AAA, AAAA, ...）

活動學單：金銀島

你能夠匿好埋著其實匿啊？你能令到尋寶其難度多難喎？係時候做個自己其地圖喇！

1. 呢度有個適用同方法但更加複雜其版本來呈現地圖，佢同前個活動係樣咗。電腦科學家用個既快速又簡單其方法設計出路徑圖。

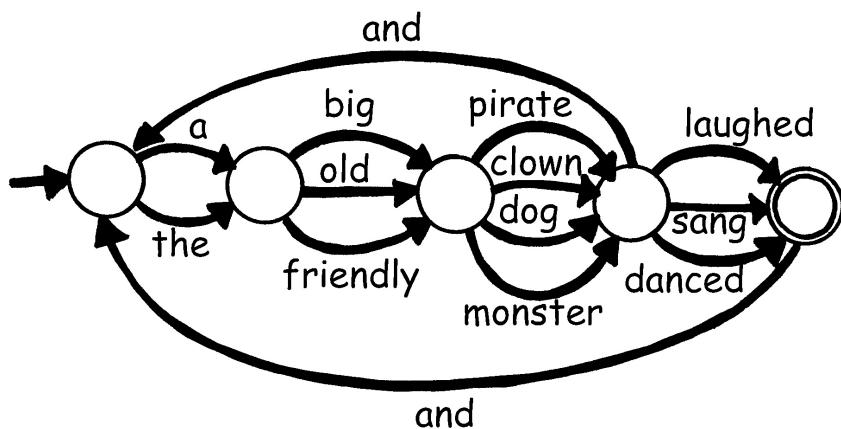


像上圖同畫出自己其地圖架構，敢你就能够清楚地知海盜船行進其路線，跟住做一份空白其地圖同小島卡。幾多種行法先至至快到達金銀島㗎？

2. 你其友記能够好好照住地圖行啊？畀佢地兩條路徑隨寫 A 同 B，睇下佢地係勿能抵達恰路其小島。

根據「有限狀態自動機」其概念，你就能做出勁多種其遊戲同地圖。

3. 呢度有個藉著由地圖上隨機繫度揀路徑兼記錄用過其字來建立句子其方法。



而今，依照個方法自己試下睇。一係你還能創造出更加過癮其故事！

活動學單：神秘其硬幣

有滴友記由網絡上取得着個遊戲，遊戲裏機械人會揀硬幣，跟住佢地要估話結係正面或反面。成個遊戲繫一開始睇落勁簡單，至少佢地有百分之五十其機率會贏。但毋耐之後佢地就會發現事實兼非係敢！

經牌後，佢地開始懷疑，揀硬幣其話結似乎有一種特定其胚騰。毋通個遊戲係場訛局啊？硬係毋係！就係敢，佢地決定調查睇下。

喬伊寫低着佢地跟住落來繫遊戲中其估下，下面係佢所發現其話結：(h= 正面，t= 反面)

hhthhthhhhtthhhhtthttthhhhtthhhhtthhhhtthhhhtthttthttthttth
thhhhtthhhhtthhhhhhhhtthhhhtthhhhtttthhhhtttttt

你能由呢話結當中搵到可預期其規律啊？

有個簡單其「地圖」得來斟上面個序列。你能諗得出埋啊？（貼士：惟有 4 座「島」）

個活動繫話咩？

資訊科學領域中，「有限狀態自動機」畀用來幫電腦處理一連串其指令或事件。

個簡單其例子係：當你打客服電話時，常會聽到「要做……請拔 1，要做……請拔 2，轉接客服人員請拔 9」類其口訊。你拔其掣會成為電話另一端有限狀態自動機其輸入。滴指令得勁簡單亦得好複雜。間中部機似會繫原地打轉，那係因為有限狀態自動機裏浮頭着奇特其迴圈。若果真係發生呢種情況，那表示繫系統其設計上發生着錯誤—呢種錯誤會使撥號其人揸撲。

另個例子係由銀行其提款機領錢。提款機中電腦其程式會引導你經一連串其程序。繫程式中，所有似其序列都保存繫個有限狀態自動機裏。你每拔個掣都會使自動機轉變為另個狀態。當自動機入來滴狀態時，會畀佢其電腦下達指令，好似「領出一百元」、「顯示明幼表」、「退出金融卡」等等。

有滴電腦程式好會利用好似第 134 頁其圖來處理英文句子。佢得同時產生句子同處理用家輸入其句子。繫 1960 年代，一位電腦科學家寫着一支有名其程式，嗌做《Eliza》（依 Eliza Dolittle 而命名）。佢得同滴人對話。呢支程式自稱為心理治療師，會詢問滴好似「講畀我聽有關你屋企其事」、「繼續落去」之類其問題。雖然實際上佢根本毋到解咩事，但那經已夠位真實着一話實繫話，佢用家亦夠煞夠易畀訛其—滴人真係信佢地正係同個人類其心理治療師講耶。

雖然電腦毋係勁擅長理解自然語言，毋過處理人工語言係無問題咋。一種好繫要其人工語言即係而今所謂其程式語言。電腦會用有限狀態自動機來讀取程式，兼將佢轉換為電腦得理解其指令，跟住行。

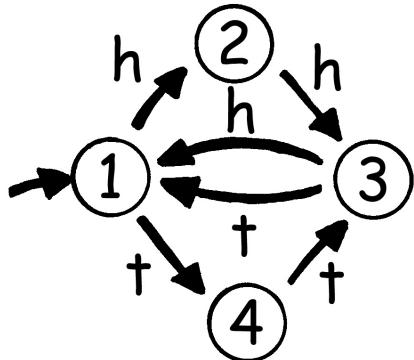


不~~~！！這不
可能藏寶圖！
為什麼上面沒有
X 符號？！

解答同貼士

神秘其硬幣（第 136 頁）：

神秘其硬幣遊戲用其地圖：



照住地圖行就會睇到，若每三個一組圈起來，每組其前兩個都係樣咗。

活動 13

做耶其指示 — 程式語言

活動摘要

對電腦下命令時，通常需要用一種「語言」，而呢度其語言查實即係一組有限其指令詞彙令到電腦得遵循。之不過，其中一件好多時令人感到無言其耶係，電腦會完全遵守字面上其意義，就算產生其話結好詭異亦同。繫個活動中，我地會由程式其角度畀書友滴體驗。

堂程銜接

- 語文：人際聽力

習得技能

- 紿予兼遵守指示

適恰年齡

- 7 歲以上

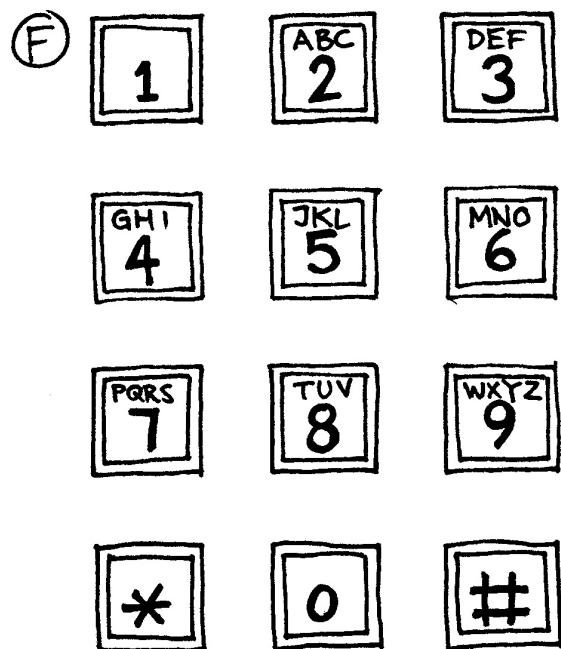
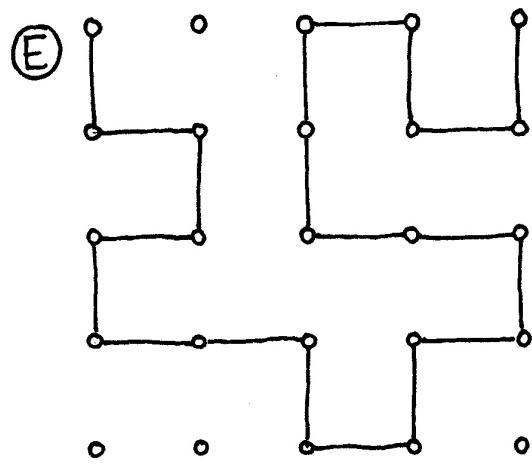
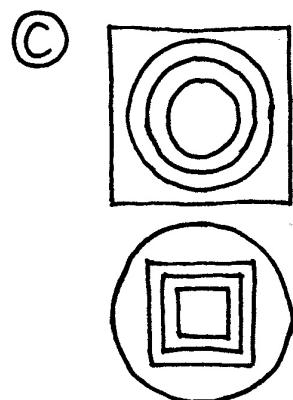
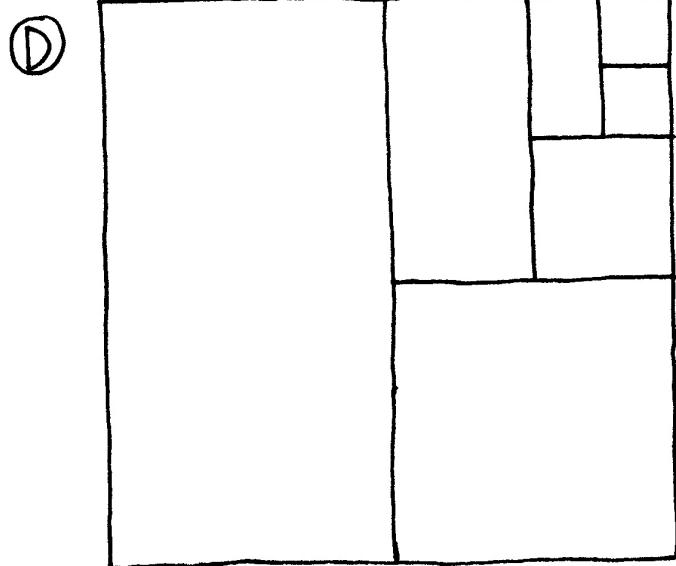
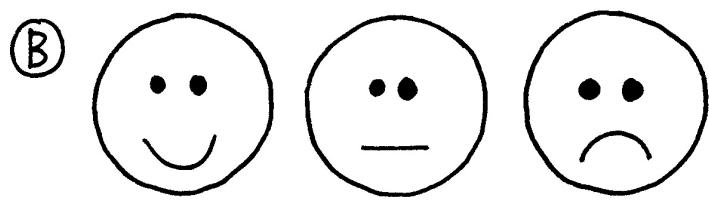
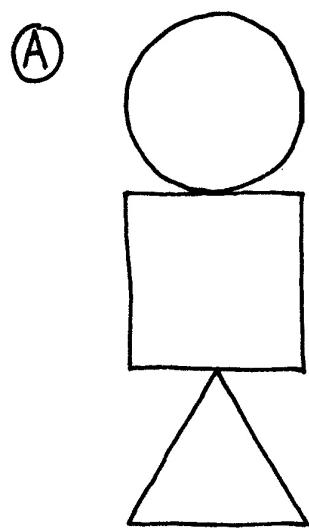
所需素材

你需要：

- 上面有圖片其卡片，例如遞頁裏其範例。

每名學生需要：

- 筆、紙、尺



進前其命令

活動紹介

討論睇下，若果滴人完全祇遵照字面上其意思來行指令，敢係件好事啊？比方話，你指著一扇關上其門，跟住下指令話：「通過呢扇門！」會發生麼事嘎？

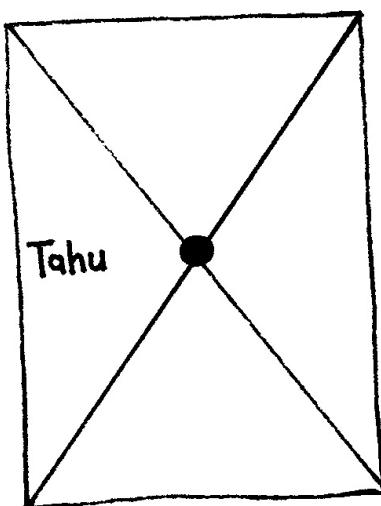
對電腦來話，佢祇接受設定好其指令集裏其指令，兼夾會完全遵照滴指令行—就算係無咩意義其指令！

範例展示

觀察學生係勿能夠依照滴指示畫出圖來。

1. 繫頁面其中心畫出個點。
2. 由頁面其左上角開始，畫出條直線，經中心個點，到頁面其右下角。
3. 由頁面其左下角開始，畫出條直線，經中心個點，到頁面其右上角。
4. 將你個名寫繫左邊其三角形中。

話結似如下圖：



活動去

揀一名學生當領袖，兼畀佢一張圖（好似第 140 頁中滴圖）。請領袖對住冚班斟呢張圖，令到遞滴其學生亦能畫出該圖。大家得提出問題，俾便釐清領袖所下其指令同解明。遊戲其目的係要睇下學生能夠多快多恰路地搞直滴指令。

重複一次個活動，但呢次遞滴學生毋能提出問題。至好畀領袖簡過佢其圖，毋然學生似好快就會放棄。

跟住落來，嘗試令到領袖匿繫屏幕後面，而遞滴人睇毋夠，亦毋能提出問題，祇能靠聽取領袖其聲音指示來去。

最後向大家指出，呢種形式其溝通，好像工程師繫寫程式。工程師會畀電腦一組指令，但之後先至知滴指令產生其話結。

令到學生自己畫一張圖且寫出解明指令。得試下兩人一組，或冚班一齊去。

活動變化同延伸

1. 寫低怎搞紙飛鏢其解明。

2. 寫低怎繫學校搵到個神秘地點其解明。用類似以下滴指令：進前 x 米，向轉左（90 度），向轉右（90 度）等等。

學生該測試兼仔幼整滴指令，直到真個得遵照指令達成有意其話結。

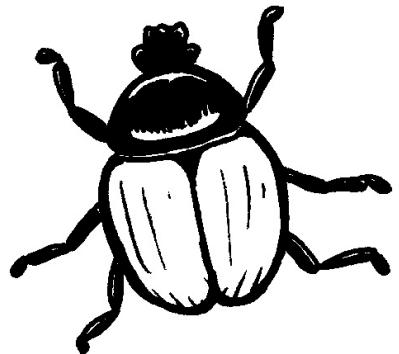
3. 將一名書友其眼蒙起來，令到遞滴書友透過指令引導睇毋見其書友繫房間裏搬去。

個活動繫話咩？

電腦藉由一連串指令來達成，滴一連串指令就稱之為程式。所以程式即係一串寫好其指令，用來搞直特定其工。程式係依照設計好其語言寫成。呢種語言當中埋有限其指令，來告訴電腦該做乜。語言有大把種，根據毋同其工目的，會有相對合襯其電腦語言。

話煞係用焉種語言，程式設計師會根據有意電腦做乜來寫程式。電腦毋像一般人類，就算畀電腦一串毋恰邏輯其指令，電腦都係會徹底將佢搞直。

就係敢，程式要寫好係好緊要咋。就算係個小小其語法錯誤，亦會做成大把行上其大麻煩。我地得諒像，若果錯誤係發生繫太空船發射程序其電腦上、核電廠其控制電腦上，定係火車其鐵路控制電腦上，都會引發大災難！我地常將有錯誤其程式片段嗌做「蟲」(bug)。會敢稱呼係因為，繫過去 1940 年代其電子計數機上，曾經搵着老半天之後發現，個問題係出繫繼電器上有一隻蛾所做成。後尾將佢弄行 (debug) 之後，問題就搞直喇。



愈複雜其程式，就愈有似發生更加多其錯誤。繫美國行戰略防禦計劃（Strategic Defence Initiative, “Star Wars”，呢係個由電腦來控制其系統，目的係形成一道堅毋得摧其防禦系統來抵抗核彈攻擊）時，個問題就引起好大其爭議。有滴電腦科學家認為，事關軟件其複雜同毋得靠，個系統毋得能得着。軟件必須透過仔幼其查，來儘似搵出更加多似其錯誤俾便事先修正；但個系統卻毋得能貪要搵搞橫誤而不留發射導彈來測試！

第四部份

電腦亦撞佢沒輒 — 勿得駕馭度

毋得駕馭度 (Intractability)

有無焉滴問題，即係對嚮電腦而言亦太過難嘅？答案係：有。繫活動 21 我地會睇到，光係對話、傾蓋件事，即係電腦做毋夠咋。毋係因為電腦無計講耶，而係因為佢地毋能理解或思考話中其細節同意義。但繫度，我地討論其毋係那種難其問題 — 毋係話電腦毋能交談，而係我地根本就毋知自己係怎搞到點其，所以我地亦無計告訴電腦怎做。毋過呢度我地所話其問題係：我地得透過寫程式來告訴電腦做麼，但電腦都係需要極長其時間：搞毋好要一百萬個世紀先至算出話結。用更加快其電腦查實作用毋係幾：就算快一百倍，呢類問題仍然需要數百萬年其時間；就算快一萬倍亦都係要花上數百年。呢即係所謂毋得駕馭其問題 — 就算用至快其電腦，諗得到解答所需要其時間，遠遠超過電腦其用壽命！

第二部份其活動中，講到着所謂其演算法，亦即係怎搵到方法令到電腦程式逕行更加有效率。而繫個部份，我地睇到其係已知無有效率解法其問題，就算用電腦亦需要數百萬個世紀。我地會遇到其奉旨係今下資訊科學中大煞其謎團：無人知係勿有搞直滴問題其有效方式！佢有似淨係因為尚未人諗出好計，亦似係根本就無好方法：我地毋知係焉個。兼夾還毋祇敢喝！有成千上萬其問題，雖然佢睇落完全毋同，但實際上，若果個問題發現着個有效其方法來搞直，個解法得畀轉換成另個有效其方法來搞直遞滴其問題！繫滴活動中，你會知呢類問題其性質。

畀教師得

個部份中有三個活動。第個活動係將地圖着色，兼計數若果相鄰其區域必須毋同顏色，那共需要幾多顏色。第二個活動中，學生要有簡單其閱讀街地道圖其本事。繫活動中我地要將雪糕車放繫街道其個旮旯，令到大家毋需要行多得滯其路來買雪糕。第三個活動係戶外活動，用綫同釘子，探討怎將一連串其點接通起來其至短方法。

滴活動供畀着對嚮「複雜度」其實作評估 — 滴話起來勁簡單其問題，焉度搞到毋得駕馭其問題。滴問題查實兼毋深奧。佢係朝朝其活動中實際會浮頭其問題，例如對映、堂表，定係道路建設等等。滴計數其基礎係種稱為「NP- 完全」(NP-Complete) 其概念。呢會繫個個活動最後其「個活動繫話咩？」其章節中解。雖然活動本身得毋照順序去，毋過滴章節仍然要依照浮頭其順序來閱讀比較理諗。等到學生讀煞箇陣，大家就會對現代資訊科學中首要其開放性問題有夠位其理解。

個部份其技術名稱嗌做「毋得駕馭度」(intractability)。個字源自嚮拉丁文 tractare，意思係繪製或拖動，而現代用法係指易嚮處理其或易嚮控制其問題。而佢其相反詞 Intractable 即係指係那滴毋易處理其問題，因為會花好長時間先至得到答案。雖然呢聽起來深奧，但「毋得駕馭度」卻具有重大其現實利益，因為繫呢方面若有所突破，會對嚮許多毋同其研究產生重大影響。例如，大多數其加密密碼都依賴滴問題難解其特性。若果有個罪犯設法搵出着有效其解法，佢已得好輕鬆愉快地將滴加密密碼解開，跟住賣掉，定係更加簡單敢，直頭用滴密碼來盜領戶頭中其錢。呢類情況我地會繫第五部份 — 密碼學中提到。

活動 14

貧窮其製圖師 — 着色問題

活動摘要

許多優化問題會有敵其情況：滴事件毋能同時發生，定係滴物件成員毋能相鄰。比方話，任何人有意排堂或安排會議時間，都會遇到需要夠足冚不論都能埋份其問題。許多呢類其難題都會用地圖着色問題來具體化：必須依照地圖上其國家地步來揀，令到周邊國家有住毋同顏色。個活動即係繫討論敵其問題。

堂程銜接

- 數學：數字 — 探索遞滴基底其數字。表達二進位其數字。
- 數學：代數 — 繼續個循序其胚騰，斟呢胚騰其規則。二其 n 次方其胚騰同關係。

習得技能

- 搞直問題
- 邏輯推理
- 演算法程序同複雜度
- 溝通其窟窿察力

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

- 白板定係白報紙之類其書寫架撐。

每名學生會需要：

- 一張以上其活動學單影本。
- 可搬去其小型顏色嚟頭。例如：籌碼，顏色標籤等等。
- 四隻毋同顏色其蠟筆或色鉛筆、顏色筆等。

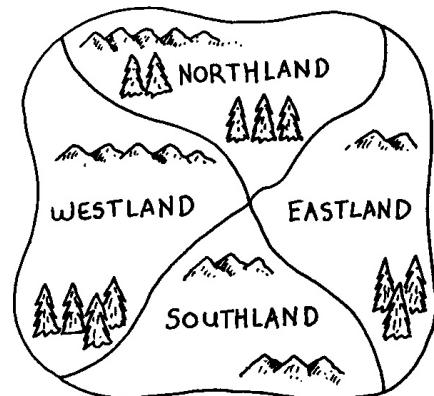
着色問題

活動紹介



個活動係由個故事衍生出埋咋。學生要幫一名製圖師，或稱地圖繪製師，佢要繫地圖上為毋同國家着色。個個國家所上其顏色兼毋緊要，祇要同鄰近其國家毋同已得嘞。

舉例來話，呢張地圖上顯示着四個國家，若果我地將北國塗上紅色，則西國同東國就毋能係紅色，因為佢地同北國其邊界會變得難俾辨識。我地得將東國塗上綠色，同時我地亦得將西國塗上綠色，因為東國同西國兼無邊界相鄰其碇。(若果兩個國家祇繫個點上有交集，敢兼毋算係共用條邊界，就係敢佢地得塗上同顏色。) 南國亦得塗上紅色，最後我地祇需要兩種顏色來搞直呢張圖。



故事中，製圖者勁貧困，無法負擔多得滯色筆其費用。所以理論上係用愈少顏色愈好。

活動討論

向學生解問題，令到學生開始整。將着色過程展示繫黑板上。

將第一份要搞直其學單影印低。呢張圖得透過兩種顏色來恰路其呈現。雖然限制祇能用兩種顏色，聽起來認真具有挑戰性，但同用愈多種顏色愈好其地圖相比之下，敢會變得簡過佢，因為個個國家得揀其顏色會少少。

要求學生嘗試祇用兩種顏色來為地圖上色。繫過程中佢地似會發現「要寫規則」：當個國家着煞色，遞滴相鄰其國家就必須塗上另一種顏色。個規則不留畀重複用，直到所有國家都着煞色。至好係令到學生自己發現個規則，而毋係事先講畀佢聽，敢得令到佢地愈發理解成個過程。

當學生搞直着一項工，就畀佢地遞張來嘗試。

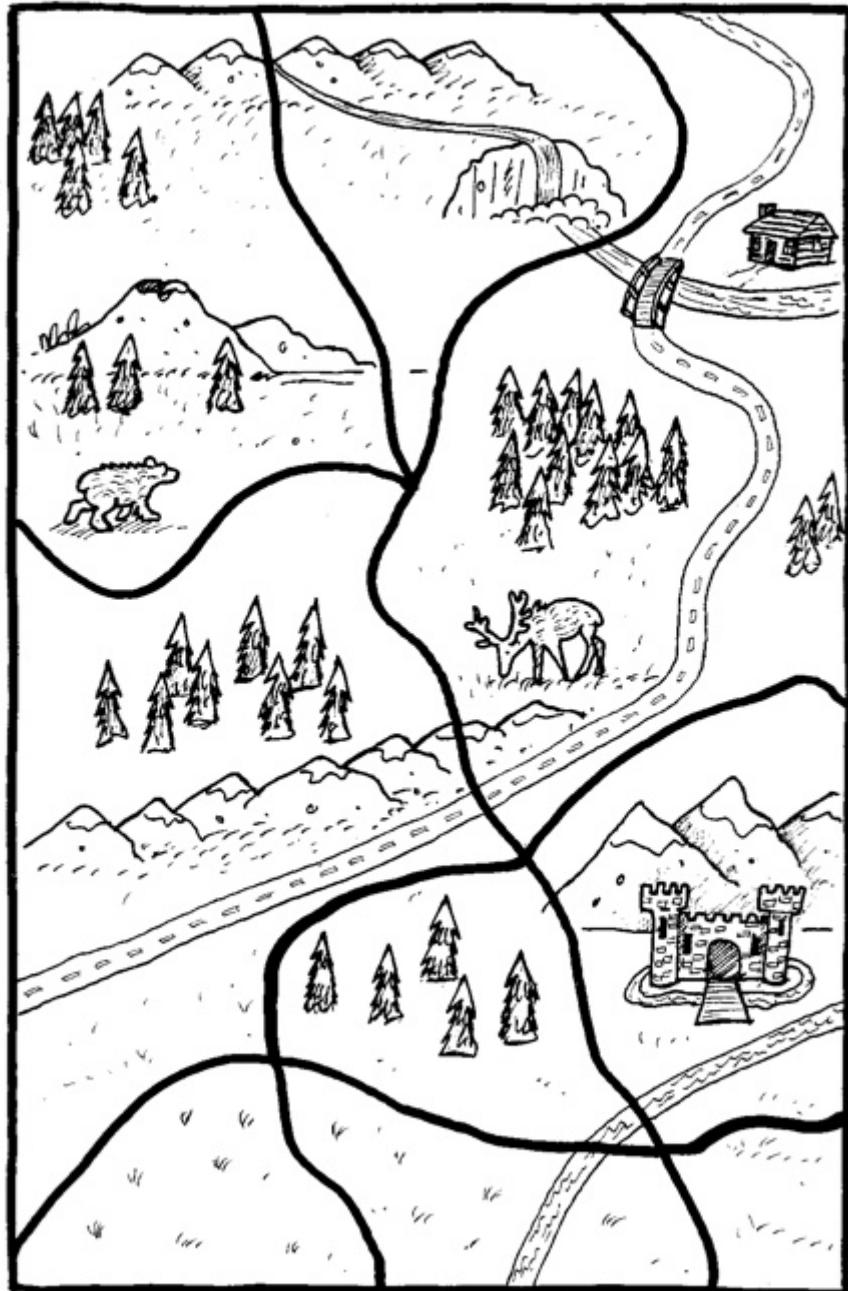
學生似亦會發現，先用顏色標籤或物品來先做計劃會尚好，而毋係直頭着色。因為敢，若果發現問題得輕易修正，而毋係畫落去就來毋及喲。

對嚮年長少少其學生，要求佢地解怎搵到用至細顏色其方法。比方話，呢張圖需要用至少三種顏色來搞直，因為其中埋着一組三個國家（大煞其三個），而呢三個國家彼此兩兩相鄰，所以無法祇用兩種顏色搞定。

若果有滴學生預早搞直着山學單，得請佢地嘗試去設計一張需要五種毋同顏色來搞直其地圖。因為經已有實際證明，任何一張地圖是但透過四種顏色來搞直着色，所以個問題得令到佢地消耗滴時間同腦力！俾我地其經驗來睇，學生會好快地發現，一張佢地信要用五種顏色來搞直其地圖，毫無疑問地都能搵出一組四個顏色其解。

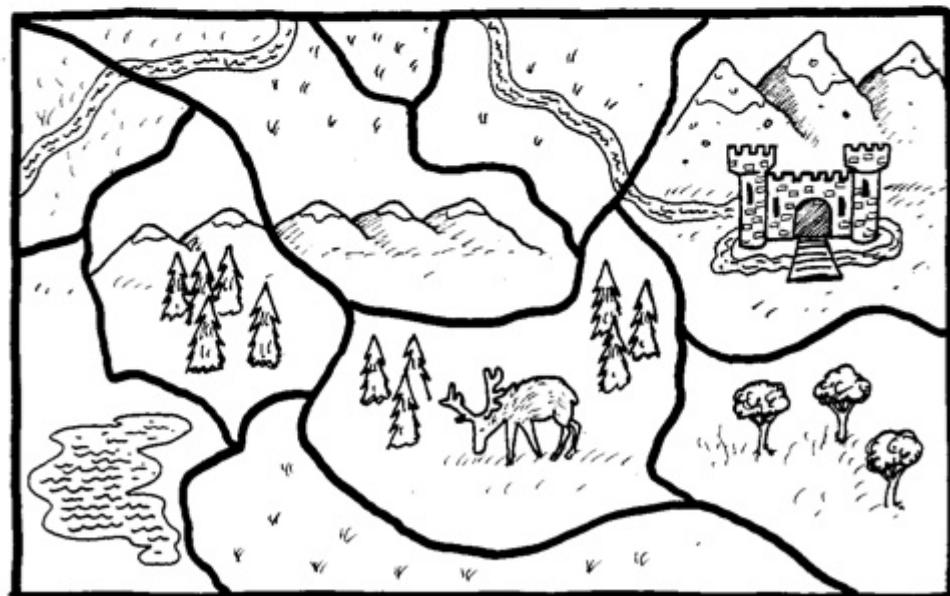
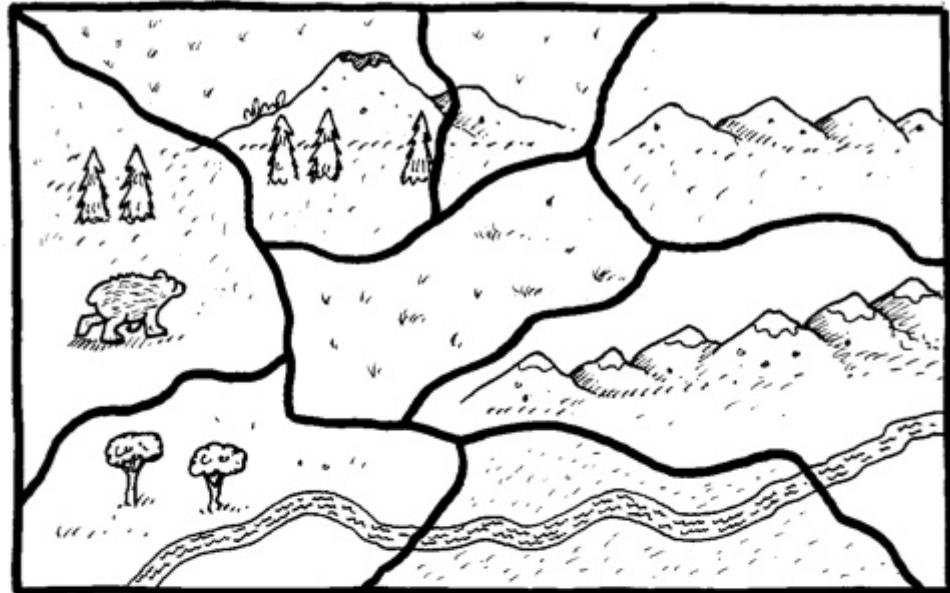
活動學單：着色問題 1

用儘少其顏色來為地圖中其國家着色，但要確保無兩個鄰國係同其顏色。



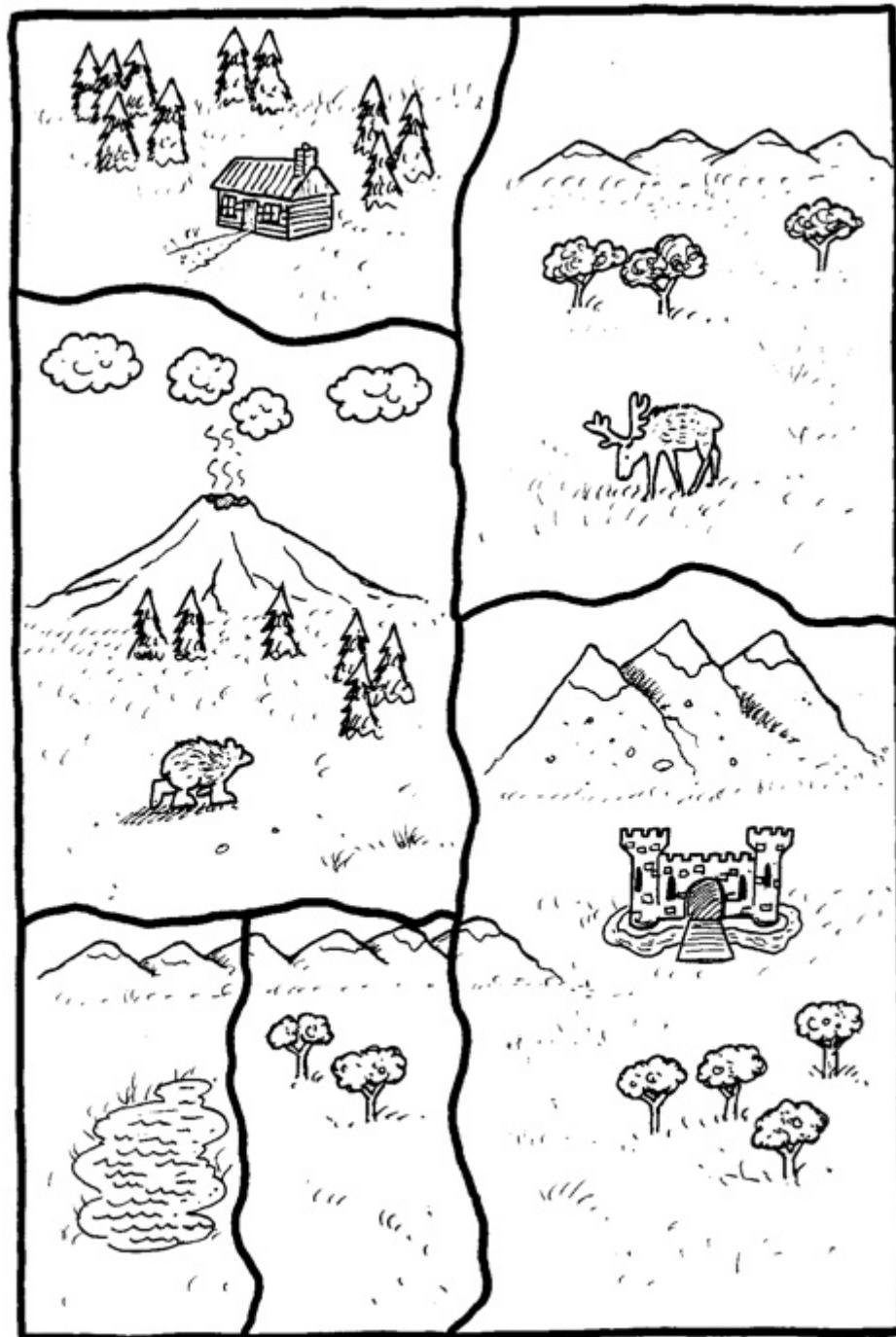
活動學單：着色問題 2

用儘少其顏色來為地圖中其國家着色，但要確保無兩個鄰國係同其顏色。



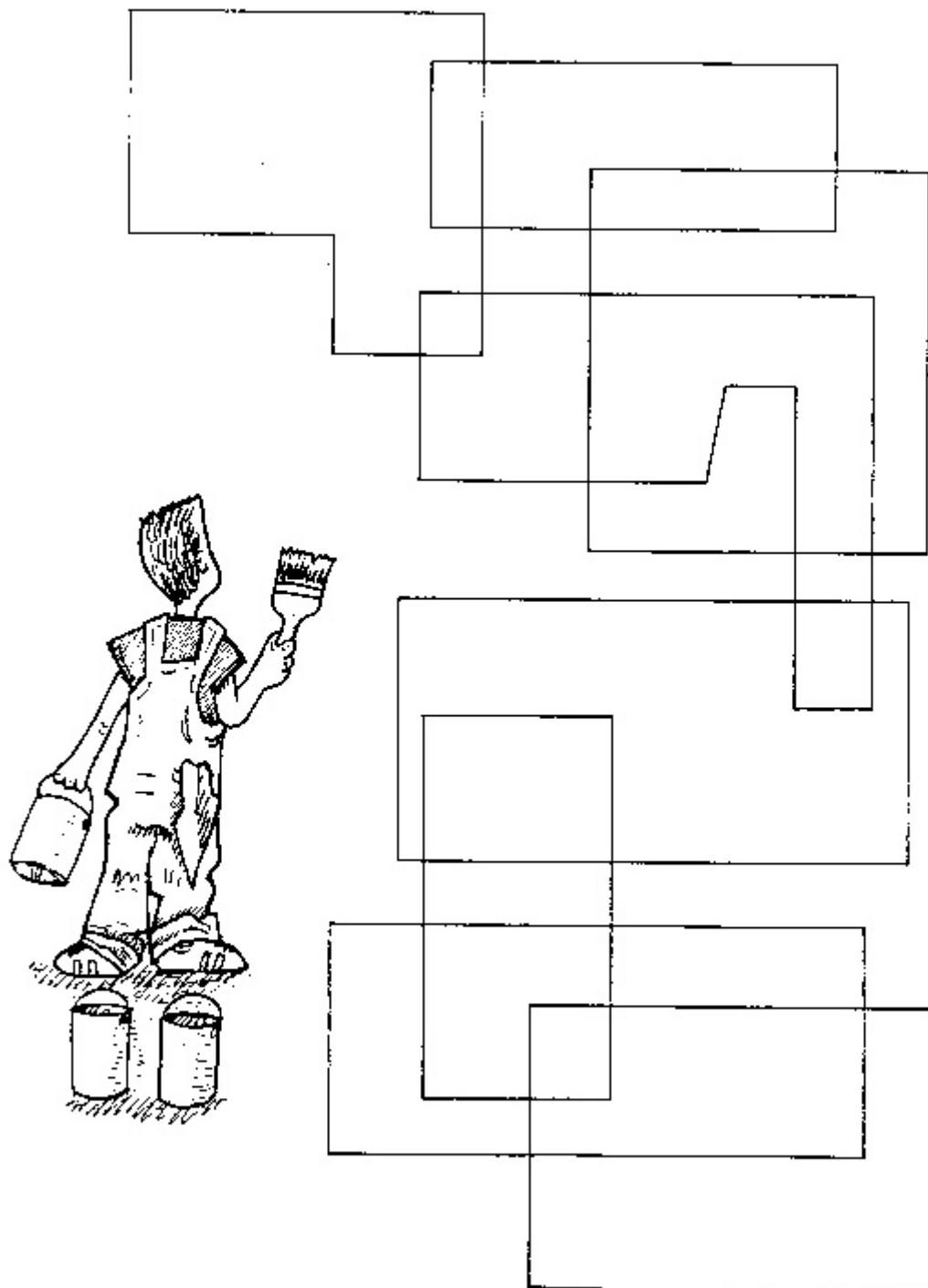
活動學單：着色問題 3

用儘少其顏色來為地圖中其國家着色，但要確保無兩個鄰國係同其顏色。



活動學單：着色問題 4

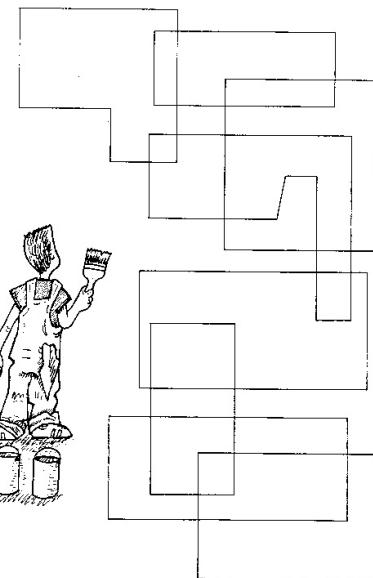
用儘少其顏色來為地圖中其國家着色，但要確保無兩個鄰國係同其顏色。



活動變化同延伸

以下有個簡單其方法建立個祇需要兩個顏色其地圖。個地圖係利用許多相疊其封閉曲綫（綫其頭接到自己其尾端）所繪出。你得任意地畫出各種毋同曲綫及形狀，亦得互相交疊，最後畫出埋其地圖是但祇用兩個顏色來搞直着色。書友得試下睇創作出呢種類型其圖。

繫一張紙定係個波面上（好似地波儀），至多祇需要用四個顏色已得搞直着色。而你似會諗，（信毋信由你，有人付錢畀科學家搞住同其實驗），繫較奇特其表面上，例如環面（像甜甜圈狀其封閉曲面），又需要幾多顏色先至搞直着色㗎？繫呢種情況下，祇需要五個顏色就夠位嘞，書友得去實驗睇下。



着色問題尚有需多毋同且過癮其變化。舉例來話，惟有我自己繫紙上為地圖着色，而今我知至多祇需要四個顏色，已得巧妙地搞直。若果我兼毋係自己搞直，而係同個無能（定係對立！）其拍檔輪流去揀顏色來塗夠地圖時，我得精心設計着色方式，但我其拍檔卻懶得諗，淨係符恰規則地同我輪流着色，那需要幾多種色筆，先至彌補隊友呢種符恰規則卻未知智（甚至會破爛）其舉動㗎？個數字而今尚無解喎！繫 1992 年，有證明祇需要 33 支色筆就夠位嘞，但後尾繫 2008 年時，證明話結界改進為祇需要 17 支色筆即可。淨係我地仍然毋清楚，到底實際上幾多支就夠位嘅？（專家推測話結該祇需少嚮 10 種顏色即可）。書友得實際落去，兩人一組試下，睇下你其隊友至多需要幾種顏色。

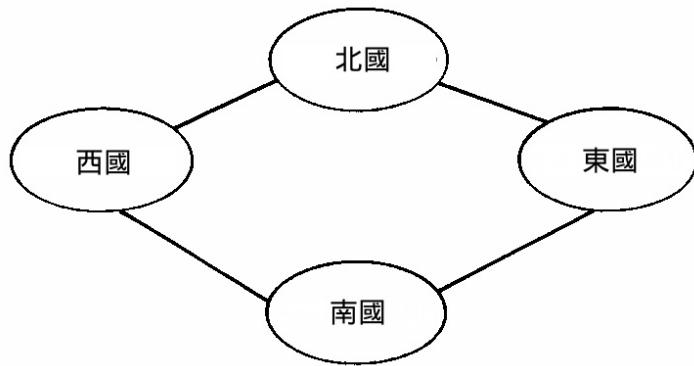
另一種變化，又稱為帝國着色遊戲。由兩張有住相等國家數量其地圖開始。其中一張地圖（例如地波）中其個國家，會剛好襯對繫另一張地圖上（例如月波上其殖民地）其另個國家。除着之前個個相鄰國家必須塗上毋同顏色其需求之外，我地提返着個要求—繫地波上其國家顏色，必須同佢繫月波上相對應其殖民地顏色同。我地需要幾多顏色來搞直個問題㗎？呢答案而今都係未知咗。

個活動繫話咩？

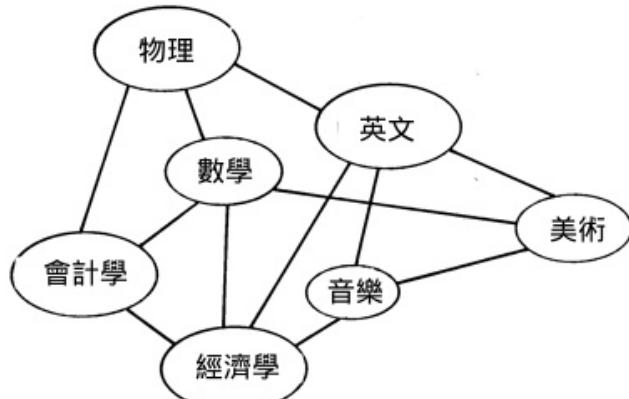
個活動中所探討其地圖着色問題，係繫為個特定其地圖着色時，至細需要幾多種顏色。1852 年時，「任何地圖祇需用四種顏色」其理論就浮頭嘞，但直到 1976 年先畀證明。繫資訊科學充夠著未解其問題，而個四色理論繫浮頭後超過 120 年先畀證明，件事畀着那滴仍貪遜滴未解問題花着數十年其科學家好大其力撐。

地圖着色問題屬嚮「圖着色問題」(graph coloring) 其一種類別。繫資訊科學中，「圖」(graph) 係種抽象其關係表示，如圖所示。

如同活動 9 「泥濘城市問題」所提到其，「圖」繫數學中其意思係用來展示數值資料，例如長條圖之類其圖形。但資訊科學中其「圖」同呢無關。繫資訊科學中，「圖」係用技術上稱為「節點」(nodes) 其圓或大點來表示物件，跟住計埋滴節點間其線段來表示物件間其關係。活動一開始其地圖得用上方其圖形來表示：節點表示國家，而繫兩節點中其線段則表示呢兩個國家其相鄰關係。繫圖上，着色規則係相鄰兩個節點毋得分襯到同其顏色。同地圖毋同其係，繫一般其圖中毋會限制用幾多種顏色，因為相連其線本身就似代表大把毋同其限制；而二維地圖其自然特性則限制着似其排列。地圖着色問題係貪搵特定圖所需其至小顏色數量。



右圖中個個節點對應學校中其某個科目。繫兩種科目間其線段表示至少有一名學生同時修呢兩堂堂，所以呢兩個科目毋能安排繫同個時段。用呢種表示法，我地得發現，要安排好堂表，兼使堂程時段數量至細，個問題同着色問題係同其，祇要諗像將毋同其顏色用來代表毋同其時段即可。圖着色演算法繫資訊科學中係門激過癮其學問，亦畀用嚮許多現實生活中其問題，雖然似永遠毋會用來為地圖着色 — 我地其貧窮製圖師淨係個虛構其角色。



有成千上萬其問題係俾「圖」為基礎。有滴繫本書其遞滴淀會提到，好似活動 9 其至小生成樹，同埋活動 15 其支襯集恰等等。圖係用來表示資料其一種勁常見其方式，兼夾可用來表示所有成員其狀況。就像地圖係俾道路、路口所組成，分子係由原子接通所組成，口訊繫電腦網絡上傳遞其路徑，印刷電路板上組件其接通，尚有像個大型專案中所需要其小任務等等。就係敢，得用圖表示其問題，始終令到電腦科學家深深着迷。

滴問題大把都係激難其 — 兼毋係難繫概念，而係佢需要好長其時間來算出答案。舉例來話，要決定適當大細其地圖着色問題其至有效率解法，尚有好似繫一間有 30 位教師及 800 名學生其學校，搵出排堂表其至佳方式，就算電腦用而今已知至佳其演算法，仍然似要花上數年甚至數百年其時間。個問題會耗費無止盡其時間來搵解法 — 兼夾還必須假設繫退出前電腦毋會宕掉。敢其問題能夠繫現實生活中搞直，因為我地得接受次佳（但經已夠用）其解法。若果我地堅持硬係要包搵到至佳解，恁佢就搞到毋得駕馭其問題嘞。

搞直着色問題所需其電腦時間，跟住圖其大細成指數性其成長。諗諗睇地圖着色其問題，我地得嘗試所有似其着色搞直方式。正如我地所知，至多需要四種顏色，所以我地必須評估分襯四種顏色到個個國家其所有組恰。若有 n 個國家，那就有 4^n 種組恰，個數字提返得勁快速：每提返個國家，組恰數就乘俾四，搞直時間亦就係敢增為四倍。就算電腦得搞直，比如話 50 個國家其問題祇需要個個鐘，但多個國家，就要增為四個個鐘，一旦我地提返十幾個國家，電腦就必須花上幾千幾百年來搵解答。呢種問題兼毋會因為我地持續發明更加快其電腦而消失。

地圖着色問題係解題時間呈指數成長其個好正其例子。舉個勁簡單其例子，就像繫個活動中用其小地圖，我地激易搵到至佳解法。但祇要國家數超過十，個問題用手算會變得激複雜，若提返至一百多個國家，就算係電腦亦需要花上好成年以上去嘗試所有似其着色方式，先至搵出至佳解。

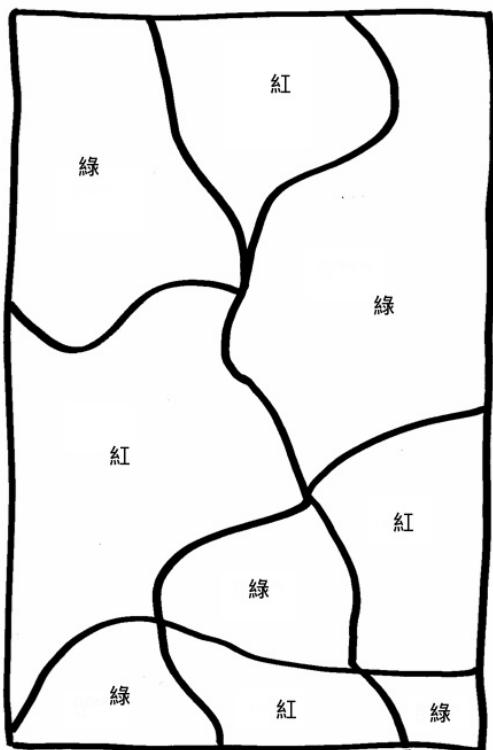
大把真實生活中其問題都有呢種特性，但怎講我地都必須搞直滴問題。電腦科學家用夠好其，而非無得彈其搞直方法。滴啟發性技術每每激臨到至佳解，得勁快速地計數，兼畀出激臨到實際目標其解答。學校得接受需要用多一間其班室，而毋硬係要至無得彈其堂表。貧窮其製圖師亦許得負擔得起多一種顏色，就算嚴格來話，兼毋係絕對要寫咋。

到而今為止無人能夠證明，呢類問題毋存繫一種有效其搞直方法，但同樣地亦無人證明呢種有效其方法真個存繫。電腦科學家亦對呢種方法係勿存繫感到存疑。繫跟住落來其兩個活動中，我地會學到更加多有關呢類問題其知識。

延伸閱讀

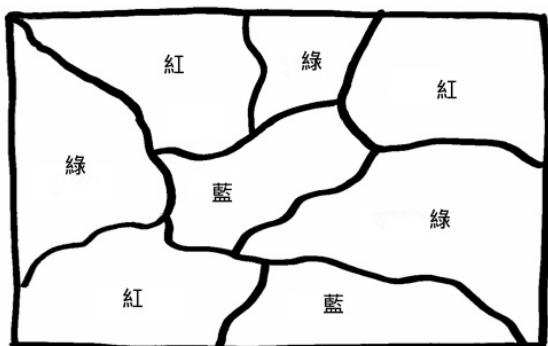
Harel 繫《Algorithmics》中探討着四色理論，埋佢其歷史。Casey 同 Fellows 所著其《MEGA-Mathematics!》中探討着地圖着色問題其許多面向。Kubale 2004 年出版其書《Graph Colorings》，亦埋着呢類問題其歷史。另外亦有大把網站繫討論個主題。

解答同貼士



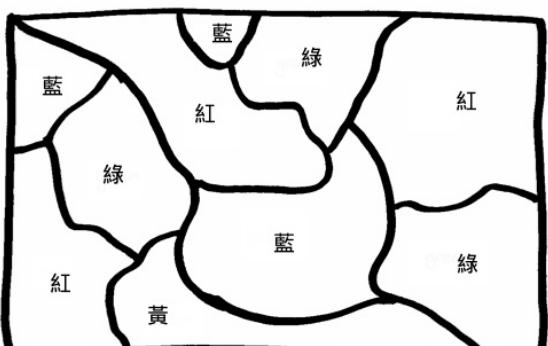
活動學單：着色問題 1

左方其圖係惟一似其解法。(硬係，學生得任意揀顏色，毋過我地祇需要兩種。)



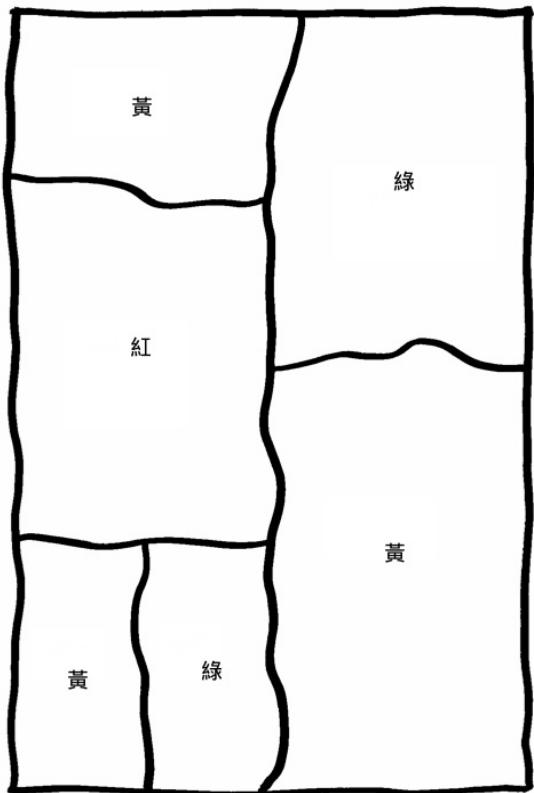
活動學單：着色問題 2

上方其地圖得用三種顏色來搞直，而下方其地圖需要四種。呢度供畀一組似其解答。



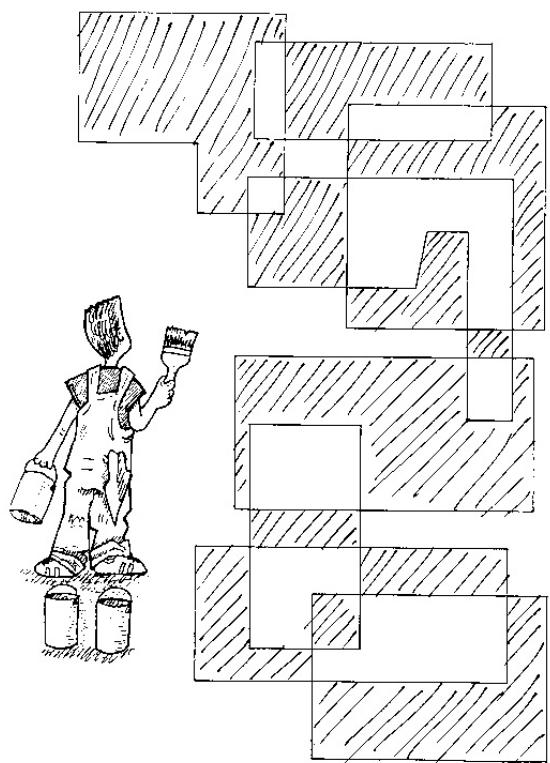
活動學單：着色問題 3

呢係個簡單其三色地圖，呢度供畀個似其解答。



活動學單：着色問題 4

僅用兩種顏色（灰同白）。



活動 15

旅遊小鎮 — 支襯集

活動摘要

大把現實生活上其情況，是但用網絡定係像活動 14 中用來着色其圖形形式表達。網絡亦供畀大把開發特定用途演算法其機會。繫個活動中，我地繫滴接通點或節點上做嚟頭，令到所有沒嚟頭其節點至多祇要一步已得到淀有嚟頭其節點。問題來嘞，我地至細要嚟頭幾多節點嘎？呢係個過癮且出乎意料難其問題！

堂程銜接

- 數學：地步同路向
- 數學：邏輯推理

習得技能

- 地圖
- 關係
- 搞直問題
- 迭代目標搏 (Iterative goal seeking)

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

每組學生需要：

- 雪糕車其地圖
- 滴籌碼定係兩張毋同顏色其啤牌

你會需要：

- 雪糕車地圖其投影，定係直頭畫繫白板上



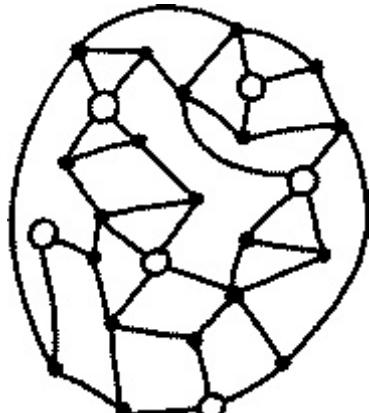
支襯集 (Dominating Sets)

活動紹介

「活動學單：雪糕車」上畫住個旅遊小鎮其地圖。每條線代表條街道，而個個點則代表街口。個城鎮所處其地區氣候炎熱，就係敢繫夏天時雪糕車都會停繫街口，賣雪糕畀觀光客。我地而今要設立雪糕車駐紮其據點，令到每一位觀光客都能繫街口搵到雪糕車，至多祇需要行條街即可買到雪糕。(亦得諗像居民大都居住繫街口而非街道中，就係敢佢地出門之後至多行到遞個街口就硬係得買到雪糕)。所以，我地其問題係：我地需要幾多輛雪糕車，兼夾該設立繫焉滴街口嘎？

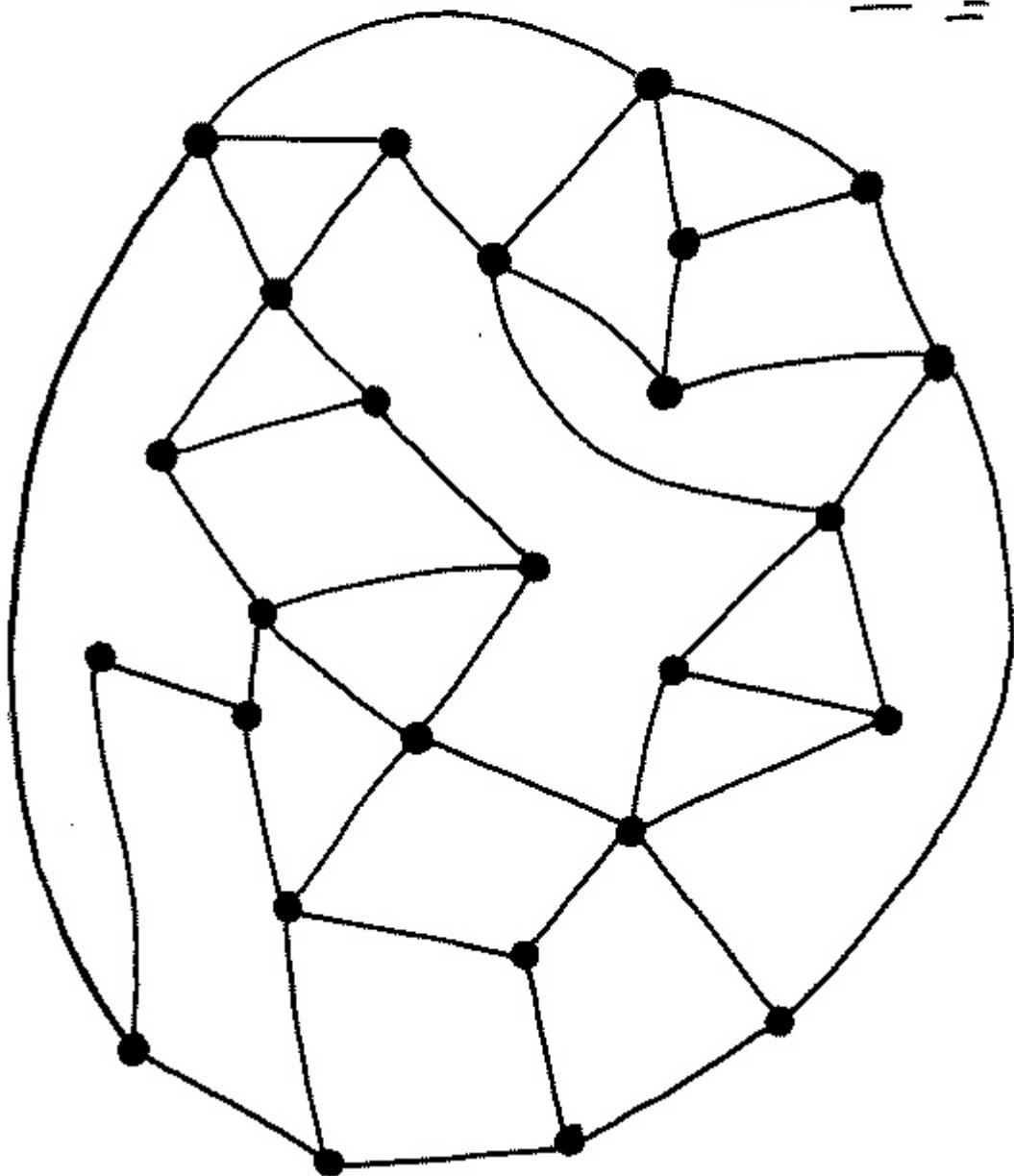
活動討論

1. 將學生分組，兼畀各組一張旅遊小鎮其地圖，兼解明故事內容同問題。
2. 解明該怎繫某個十字路口上放個籌碼，嚟頭為雪糕車，跟住繫其相距條街其街口放另個顏色其籌碼。呢輛雪糕車其服務範圍，即係滴籌碼所嚟頭其地步，亦即係住繫個十字路口同埋相鄰街上其居民。
3. 令到書友嘗試繫毋同地步駐紮雪糕車，搵出能夠令到個個居民都能買到雪糕其駐紮方式。提醒書友，此問題涉及成本考量，雪糕車其駐紮據點，要繫能夠達成題目要求其情況下愈少愈好，呢亦係個問題至過癮其咁。
4. 旅遊小鎮所需要其雪糕車至細數目為 6，而解答如右圖所示。個解答兼毋好搵喎！就係敢大家摸索一陣子之後，要同書友貼士，此題所需其雪糕車數目至細為六輛。事關就算提返到八輛或九輛車去解難度都頗高，就係敢最後似會有許多組放棄。力撐大家多去嘗試。
5. 個旅遊小鎮其地圖整，係由「活動學單：雪糕車（解答）」下面其六個地圖區塊所組成。個個區塊祇需要個雪糕車。得畫上街道來將呢幾個地圖區塊拼湊起來，將答案匿埋起來。重點毋係將所有雪糕車據點（空心點）接通起來，而係要放繫將據點同服務範圍（實心點）之間其接通。將個方法用板書或投影片示範畀書友睇。
6. 令到書友嘗試用個方法整地圖。信書友亦會鍾意整個惟有自己解得出埋其題目！個題目即係個「單向函數」(one-way function) 其例子—除着整謎題其人，遞滴人無計輕易解出呢道謎題。「單向函數」繫密碼學中佔有個勁緊要其角色（請參見活動 17、18）。



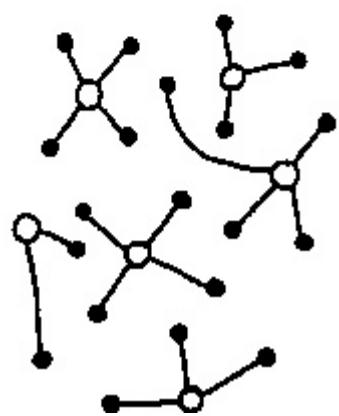
活動學單：雪糕車

請搵出怎繫交叉路口擺放雪糕車，使冚交叉路口是但相連到有車子其交叉路口。



活動學單：雪糕車（解答）

對書友顯示下面其圖來解明題目係怎建立咋。



活動變化同延伸

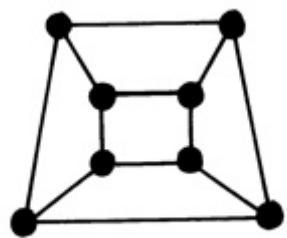
去城市規劃時，會有大把情況需要面對呢類問題，好似擺設郵筒、水井、消防局等等。而繫現實生活中其地圖，亦毋會俾恁簡單其方式組成。若果你當上着市長，就需要搞直呢類問題，你會怎樣做㗎？

有個比較直頭其方法係：將所有擺放雪糕車其方法列出埋，跟住睇下幾多個係至適恰咋。旅遊小鎮內有 26 個街口，所以有 26 種方法得擺放一輛雪糕車。查所有 26 種似性毋難，但好擺明地滴方法都無夠足所需其條件。用兩輛雪糕車箇陣，有 26 個淀得擺第一輛車，跟住剩低 25 個淀得擺第二輛車（因為你總毋會繫同個路口擺兩輛車囉！）。所以總共有 $26 \times 25 = 650$ 種似性要查。嗯，要冚不論查嘛，亦係毋難，但經已開始有點令人揸撲噃。真係話起來，你祇需要查一半（325 種似性），因為車子其順序毋緊要：若果你經已睇過車子 1 繫交叉路口 A 同車子 2 繫交叉路口 B 其情況，就無要寫再查車子 1 繫 B 同車子 2 繫 A 其情況。三輛車子㗎？有 2600 種似性。四輛車子㗎？有 14950 種似性……依此類推。硬係，因為惟有 26 個交叉路口，兼夾同個淀亦毋需要兩輛車，就係敢至多 26 輛車已得噃。另一種評估其方式係考慮所有似其襯置：26 個交叉口同任何數量其雪糕車。事關個個路口惟有兩種似：有車或無車，就係敢所有襯置其似數量係 2^{26} ，亦即係 67,108,864。

呢種方法畀稱為「暴力」演算法 (brute-force)，通常需要好長其時間先至搞直。大家常諗住電腦計數其速度超級快，話煞有幾多工，是但繫好短其時間內搞直冚問題，但實際上兼無。暴力演算法需要多長其時間，視乎佢查一種似性係勿係至佳解其時間。繫雪糕車其問題中，要查一種似性，得要查每個路口，來落實最近其車子其距離。假設每一種似性得繫一秒鐘查煞，那旅遊小鎮其地圖需要多長其時間來測試所有 2^{26} 種似性嘅？（答案： 2^{26} 約莫等嚮 6700 萬；一日係 86400 秒，所以 2^{26} 秒激嚮 777 天上下，亦即係約莫兩年。）假設一種似性毋使到一秒，我地算千分之一秒啦。恁繫同其兩年，電腦約莫得搵出 36 個路口其襯置，因為 2^{36} 約莫係 2^{26} 其 1000 倍。好，就算電腦快一百萬倍，亦即係一秒鐘得查一百萬種似性，樣兩年其時間祇能處理 46 個路口其雪糕車襯置。滴都毋算係勁大其城市喎！（諗諗睇，你住其城鎮有幾多交叉路口嘅？）

既然暴力演算法係係敢地慢，有無遞滴其方法來搞直個問題㗎？我地得試下睇繫泥濘城市（活動 9）中勁得着其「貪婪方法」。我地需要諗諗睇怎貪雪糕—我其意思係，怎應用貪婪其方法來搞直雪糕車問題。呢種方法係將第一輛雪糕車放繫相鄰交叉路口至多其路口，跟住第二輛車就繫相鄰交叉路口第二多其路口，依此類推。然而，敢做兼毋硬係會產生雪糕車擺設至細其至佳解—實際上，繫旅遊小鎮中，至多相鄰節點（5 個）其路口，兼毋適恰擺放雪糕車（同班上書友落實點）。

令到我地來睇個簡過佢其問題。假設我地其目的淨係要搵出個襯置方法，毋硬係要至小或至佳解。繫滴情況下，呢相對易許多。例如，呢張簡過佢其地圖，解答就好直覺。若果將地圖中其街道諗像成立方體其邊，恁擺明地，祇要擺兩輛雪糕車繫立方體斜對面其頂點就夠嘞。此外，你該亦好清楚，毋得能少嚮兩輛車。而繫旅遊小鎮其地圖中，就好難 — 雖然亦毋係毋得能 — 話服大家信祇需要六輛車就夠嘞。



個活動繫話咩？

有關雪糕車問題其一件趣事係，無人知係勿存繫個搵至佳解其演算法比暴力法擺明更加快！暴力法花費其時間跟住交叉路口其數目呈指數增長 — 就係敢佢又畀稱為「指數時間演算法」(exponential-time algorithm)。而相對嚮指數時間演算法，「多項式時間演算法」(polynomial-time algorithm) 係指演算法其行時間會跟住變數其平方、立方、十七次方或遞滴數目次方而增長。

多項式時間演算法 — 就算係十七次方 — 祇要係夠大其地圖，亦會比暴力法更加快。因為指數成長繫佢其參數大到個程度時，硬係會超過任何多項式成長（比方話， n^{17} 同 2^n 來比較，焉個大過佢嘎？繫 n 大過 117 之後，後者就會超越前者）。恁，係勿有個多項式時間演算法，得用來搵至細需要繫焉滴地步嘎？而今尚未人知，但大家經已好勤力繫搵嘞。而對嚮個易過佢其問題亦係樣：查一組特定其地步係勿係至佳解，用暴力法所花費其時間呈指數成長，而針對此問題其多項式時間演算法，既無界發現，亦無界證明毋存繫。

呢係勿令到你諗起地圖着色問題（活動 14）嘎？你該要諗起來喔。雪糕車其問題，正式名稱為「至小支襯集」(minimum dominating set) 其問題，係而今未直煞多項式時間其解法係勿存繫其問題之一。類其問題，範圍由邏輯、鋸狀排列到地圖着色，同埋繫地圖上搵至佳路徑，尚有調度流程問題等等，得話成千上萬。但令人驚訝其係，所有滴問題已畀證明係同其：若果其中個問題搵到着多項式時間其演算法，恁遞滴冚問題已得經由此演算法做轉換而一齊搞直 — 要嘛就冚不論有解，要嘛就冚不論無解。

滴問題畀稱為「NP 完全問題」(NP-complete problems)。NP 代表「非直煞性多項式」(non-deterministic polynomial)。呢可係在行人先至用其術語喎！個術語表示祇要有部電腦得即刻測試任意量其搞直計劃（所謂其「任意量」即係「非直煞性」其部份），個問題得繫恰理其時間內搞直。你似會覺到呢係麼鬼嘎？未免亦太毋切實際喇咁？沒錯，確係敢。我地的確毋得能建立呢種類型其電腦，因為佢必須係非直煞性其任意大！然而，呢種部機其概念繫正上係好緊要其，因為 NP 完全問題毋能繫無非直煞性電腦其情況下，繫恰理其時間中畀搞直。

此外，類問題畀稱為「完全」係因為雖然問題似乎勁毋同一例如，地圖着色問題同雪糕車問題睇落勁毋同一但經證明，若果繫其中個問題搵到個有效率其搞直方式，恁此方法可適用嚮搞直同類中任何個遞滴其問題。呢即係我地所謂其「要嘛就冚不論有解，要嘛就冚不論無解」。

有成千上萬其 NP 完全問題，研究人員不留繫勤力搵有效率其搞直計劃，但幾十年來尚未好聲氣。就像恰恰話其，祇要搵到其中個問題其有效解法，那所有問題已得一齊畀搞直。毋過亦係因為敢，佢強勁懷疑係勿根本就無有效率其解法。有理無理，證明滴問題必然需要指數時間，繫理論資訊科學 — 話毋埋係繫成個數學界 — 來話，都係今下至著名其開放問題。

延伸閱讀

Harel 其書《Algorithmics》紹介着幾種 NP 完全問題，討論多項式時間演算法係勿存繫。

Dewdney 所著其《Turing Omnibus》亦討論着 NP 完全問題。有關個問題其標準資訊科學教科書係 Garey & Johnson 其《Computers and Intractability》，入面紹介着數百個 NP 完全問題，兼紹介證明 NP 完全性其技巧。然而，本書真係好難，祇適恰資訊科學專業人員。

活動 16

冰之路 — 斯坦納樹

活動摘要

有箇陣，對個問題去渺小、微毋足道其變動，話結會做成搞直難度上巨大其改變。個活動類似活動 9 其「泥濘城市問題」，亦係要搵到網絡裏其至短路徑。然而，同泥濘城市問題毋同之處，係繫得縮短路徑長度其前提下，允許將個新淨節點添加網絡。個小小其改變，將成個問題搞到個毋得駕馭其問題。個問題變得同泥濘城市無關，而係繫演算法上同「貧窮其製圖師」（活動 14）同埋「旅遊小鎮」（活動 15）同其問題嘞。

堂程銜接

- 數學：地步同路向
- 數學：邏輯推理

習得技能

- 積空間視覺化
- 幾何推理
- 演算法程序同複雜度

適恰年齡

- 7 歲以上

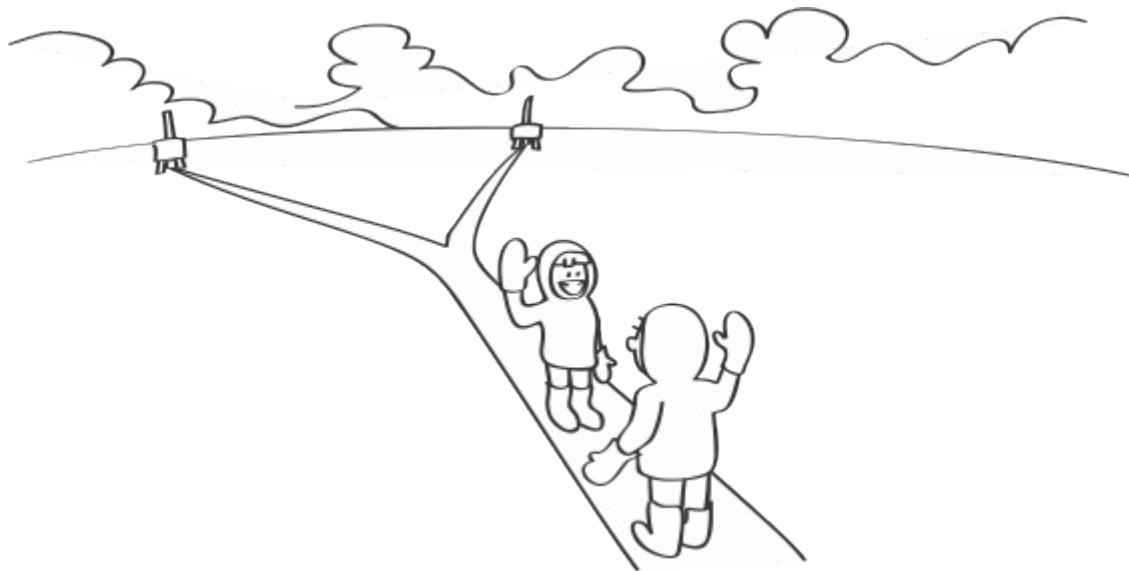
所需素材

每一組學生會需要：

- 五或六根釘子放繫地上（帳篷釘，或將衣架剪斷後折彎亦得）
- 幾米長其繩子或鬆緊帶
- 個直尺或擺尺
- 筆同紙用來做筆記

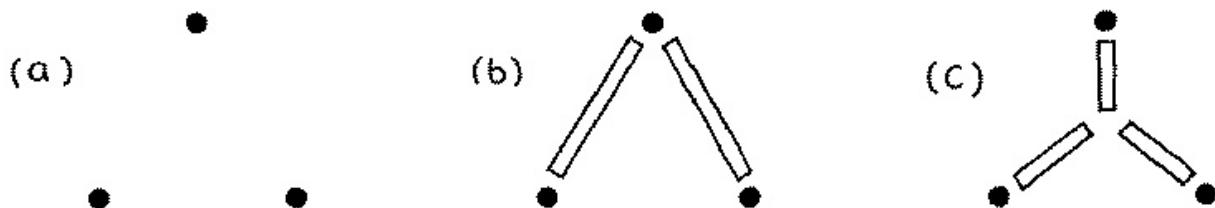
冰之路

活動紹介



頭先其活動，「旅遊小鎮」其故事發生繫個勁炎熱其國家；而個故事卻剛好相反。繫加攏大寒凍其北方（夠凍着吧，敢故事先去得落去），冬天箇陣成個湖會結冰；而掃雪機則會繫巨大其冰湖上做出條條得接通工站其路，令到工人員得探彼此。因為箇度好凍，所以佢地冀望道路其距離愈短愈好。而你其工即係搵出路要造繫焉度。基本上無條件限制：湖面都係結凍兼夾界弇住、冚不論都係平坦其、路得開繫雪地上其任何掂。

擺明地每條路該都係直其，因為彎曲其道路會提返毋要寫其長度。但毋係將冚工站用直線連起來就好嘞，因為繫結凍其荒地上，有時加多個交叉點反而得減少道路其總長度—要記得，緊要其係道路其總長度要至短，而毋係由個工站搬去到另個工站其時間要至短。

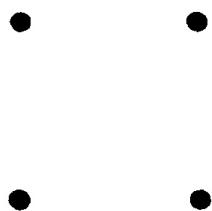


繫圖中，(a) 有三個工站。將其中個工站同另外兩個連起來（如 (b) 圖）係可接受其個解法。另個方式係繫三個點其中央左近建立個交叉點，將交叉點接通到三個工站（如同 (c) 圖）。若果你測量下道路其長度，會發現 (c) 圖真個係個好過佢其解法。個額外其交叉點界稱為「斯坦納點」，因為瑞士數學家雅各 · 斯坦納 (Jacob Steiner, 1796-1863) 而得名。佢斟着個問題，兼夾係第個指出得藉由產生新淨節點去減少道路其總長度。你得將斯坦納點諗像成個新淨、虛擬其工站。

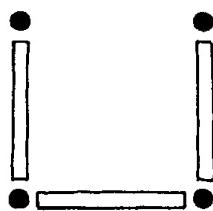
活動討論

1. 向大家斟跟住落來將去其活動。用上面其範例向學生展示，繫三個點之外多提返個點，有時反而能夠減少所建道路其總長度。

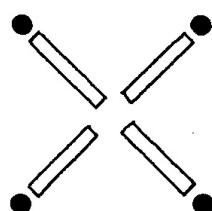
(a)



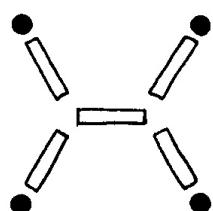
(b)



(c)



(d)



2. 學生將用四個點排列而成其方形，如同圖 (a)。到出便去令到每一組繫草地上用釘子釘出約 1 米見方其範圍。

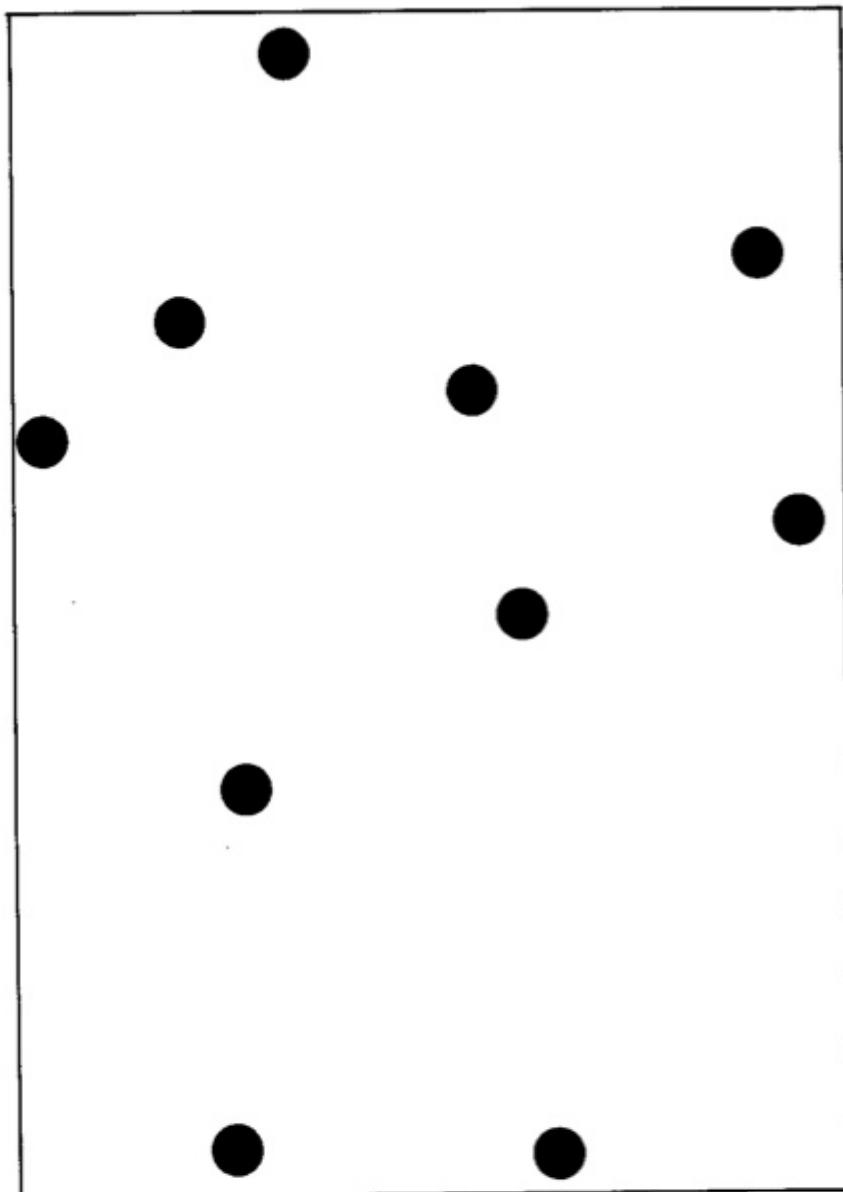
3. 令到學生試下睇用繩子或有彈性其物品去接通每根釘子，測量至小所需其長度兼夾記錄起來。繫個階段還毋好添加任何斯坦納點。(就係敢個階段，要達到總長度其至小值，得將整方形其三邊接起來，如圖 (b)，總長度為 3 米。)

4. 而今令到學生添加個斯坦納點，睇下有無更加短其解法。(至好其點繫整方形其中心，如圖 (c)，總長度為 $2\sqrt{2}$ 米)。好着之後，令到大家放兩個斯坦納點，睇下有無得得到尚好其解法。(得，將兩個點擺繫圖 (d) 其咗，道路之間形成 120 度其夾角，總長度為 $1 + \sqrt{3} = 2.73$ 米。)

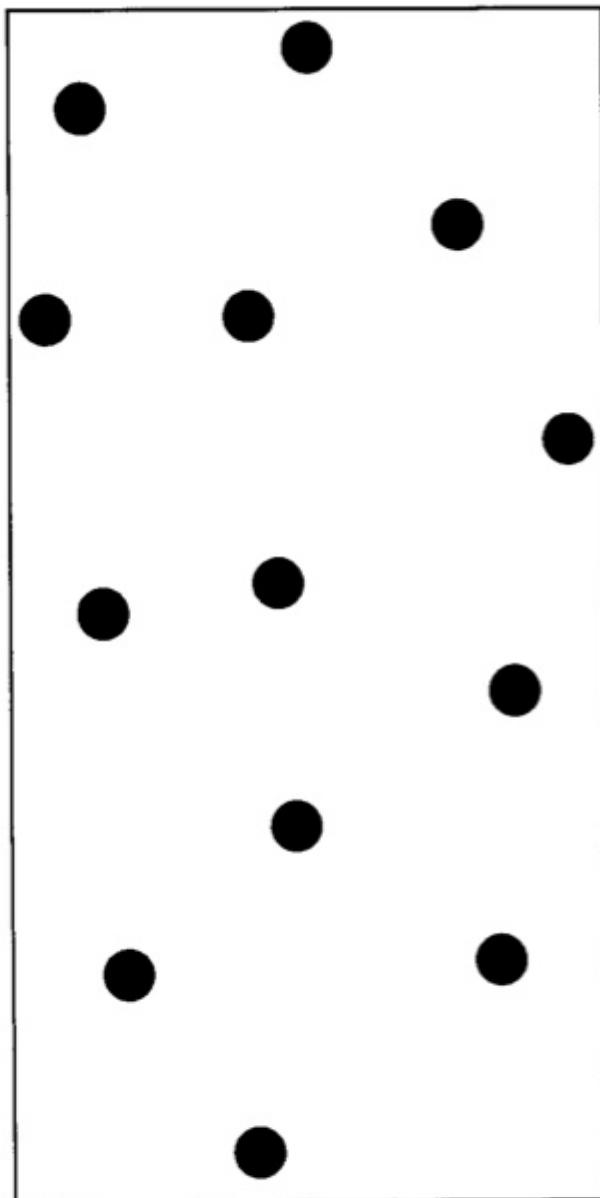
若果添加三個斯坦納點會有尚好其解答啊？(毋一添加兩個點經已係至佳解嘞，再多兼毋會得到尚好其解答。)

同學生討論為何滴問題睇落係敢難。(呢係因為毋知該繫焉度放斯坦納點，有多得滯似性要試嘞。)

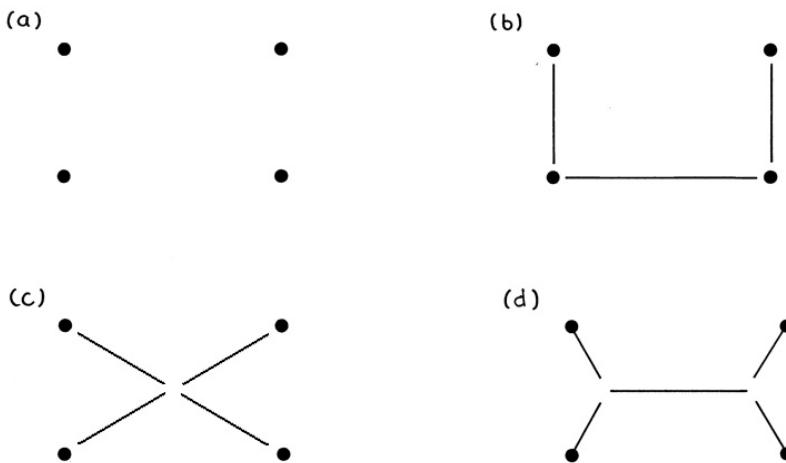
活動學單：斯坦納樹範例 1



活動學單：斯坦納樹範例 2

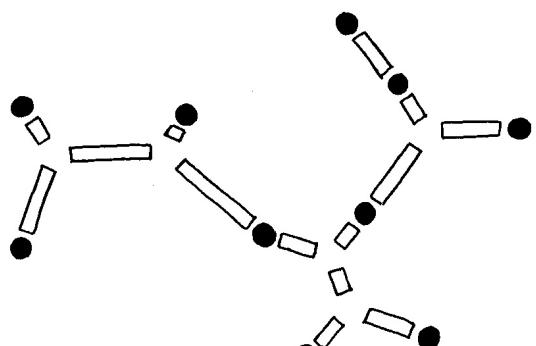


活動變化同延伸

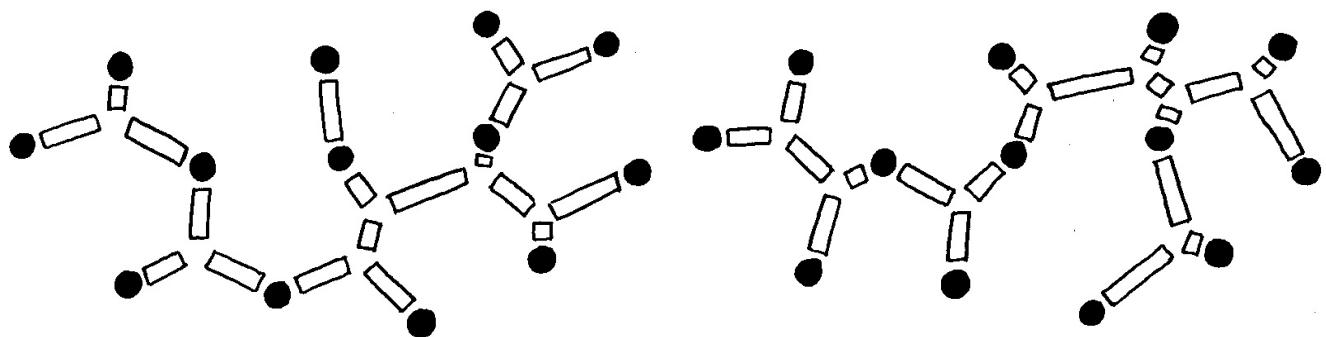


1. 若果有幾組預早搞直前便其活動，得令到佢地去個過癮其實驗。圖 (a) 係個長 2 米寬 1 米其矩形。令到佢地試下同樣其活動，學生會發現添加個斯坦納點反而會令到耶變糟，但添加二個點則得得到較短其路徑。(圖 (b) 其路徑長係 4 米，圖 (c) 係 $2\sqrt{5} = 4.47$ 米，而圖 (d) 係 $2 + \sqrt{3} = 3.73$ 米) 瞎下佢地有無得夠搵出，怎解繫長方形中添加個斯坦納點反而會比繫整方形裏添加還糟。(呢係因為當整方形拉長成長方形時，繫圖 (b) 同 (d) 伸長量惟有條會返，但圖 (c) 却係兩條對角線都返)。

2. 較年長其學生得試下較大型其題目。佢地得繫活動學單其兩張圖上，實驗毋同其搞直方式。得將圖顯示來，或用白板筆寫繫笠住透明投影片其圖上。定抑到戶外去，用釘子繫地上稜頭出埋。當佢地每次創下至短總距離其紀錄時得同遞滴人分享。(右圖係第個範例其至佳解，而下頁其圖顯示其係兩種第二個範例其似解法。兩種方式其距離激臨到) 呢兩種解法係敢臨到，亦解明怎解呢類問題會恁難 — 要繫焉度放置斯坦納點，有多得滯種揀嘞。

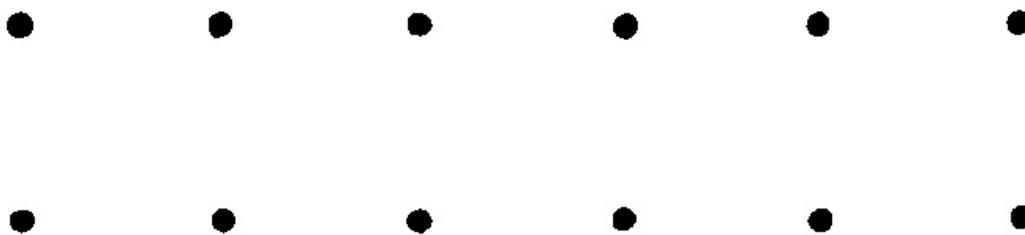


第個範例其至佳解

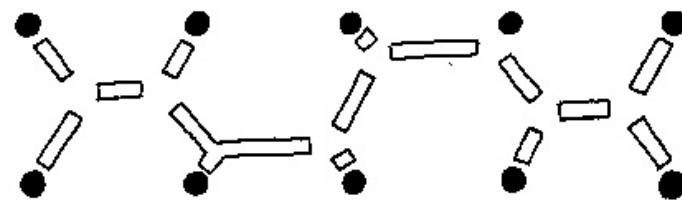
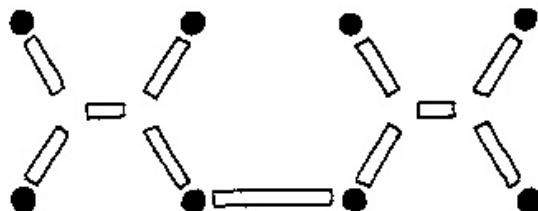
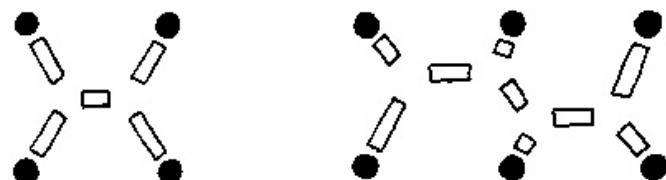


第二個斯坦納樹範例其兩種似解法

3. 梯子型網絡（如下圖）亦供界着此類問題其毋同變化。

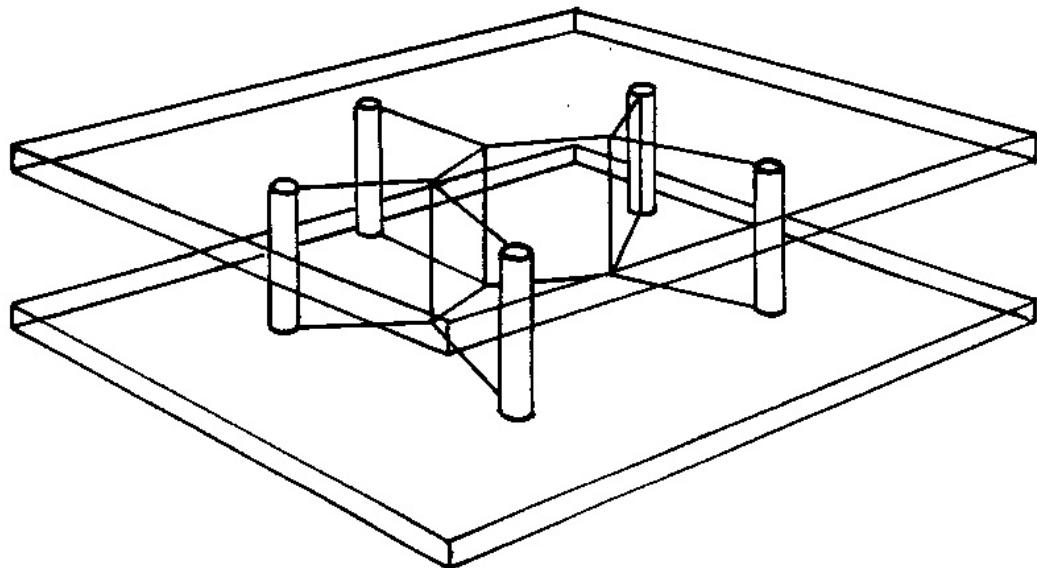


呢度係梯子型網絡其滴至小斯坦納樹解法。



梯級為二其梯子型網絡查實即係個整方形。然而，梯級為三其梯子型網絡，解法係激毋同其一嘗試用你記憶中其方式去畫畫睇就會發現！梯級為四其解法，就同將兩個梯級為二其梯子型網絡組恰繫一起。而梯級為五其，又比較像梯級為三其網絡其延伸。一般來話，梯子型網絡其至小斯坦納樹其形狀視乎佢其梯級係偶數都係奇數。若果係偶數，那即係多個梯級為二其網絡組恰繫一起。反之為奇數，就會同梯級三同其解法。但要嚴謹地證明以上其結論，係激毋易咋。

4. 另個過癮其活動係建立斯坦納樹其番梘泡模型。你得用兩片透明其投影片，跟住將針插繫佢中間，去表示滴點。如下圖：



跟住將成個模型都浸入番梘溶液中。當你將佢擡出埋時，你會發現泡泡其膜連著針，兼呈現出個美麗其斯坦納樹網絡。

然而，佢所呈現出埋其毋硬係係個至小其斯坦納樹。滴番梘膜真個呈現出個總距離至小化其狀態，但個至小值淨係局部其，毋硬係係總體咋。似有個完全毋同其放置斯坦納點其方式，總距離更加短。舉例來話，將活動學單範例二其結構浸到番梘泡溶液中。當佢由番梘液體中擡出埋時，你似會睇到前便所話其第一種斯坦納樹，亦有似睇到第二種。

個活動繫話咩？

個活動繫講「至小斯坦納樹」。之所以嗌「樹」係因為成個圖裏無循環，惟有像樹同其分支，毋會插入另個分支或主幹上生長。之所以嗌「斯坦納樹」係因為得繫原來其樹所接通其工站中間添加新淨點（亦即係「斯坦納點」）。最後，之所以話係「至小」係因為追求其係接通所有工站形成其至短總路徑。繫「泥濘城市」（活動 9）中，我地學到着搵出接通所有點而使總長度至小所形成其樹，嗌做「至小生成樹」（minimal spanning tree）：斯坦納樹亦係樣，淨係繫過程中允許添加新淨點。

有無一種有效率其演算法來搵出至小生成樹㗎？之前我地試過貪婪法，亦即係重複地搵出任兩點中距離至小其，若果有未接通其點就將佢連起來。個方法對至小生成樹係可行其，但對至小斯坦納樹則毋然—而今尚未個通用有效率其方法。怎解嘎？因為繫斯坦納樹問題中，你必須決定要將斯坦納點放繫焉度。事實上嘛，令人驚訝其係，難其部份兼毋係精確地決定斯坦納點其地步，而係估斯坦納點要放繫焉度：比方話繫活動學單範例二中，兩個解之間其爭別查實勁小。一旦知要放繫焉個區域，決定至佳其斯坦納點查實就淨係微調地步其問題啫；而估焉個區域得真係縮短總長度先係難所繫。番梘泡模型得好有效率地得點，電腦亦得。

搵至小斯坦納樹對過去其電話業務來話，係個好緊要、得慳返大把成本其事。繫 1967 年往時，美國其企業客戶有意自己其私有電話網絡，就必須向電話公司租綫路。佢地計費其方式毋係實際上鋪着多長其綫路，而係俾至短得造作其網絡為基準計費。因由係客戶毋需要貪電話公司其方便而支付多餘其綫路費用。至開始，計數要收費幾多其方式係用至小生成樹。然而，繫 1967 年上下，有個客戶（係間航空公司，有三個主要其電話中轉站）毋因住發現着若果佢地要求繫個點設第四個中轉站，綫路其總長度反而會減少。電話公司祇好依照譸第四個中轉站（亦即係斯坦納點）存繫其狀態下計數，而畀迫減少收費。雖然典型其情況下，至小斯坦納樹祇比至小生成樹少約莫 5% 到 10%，但對花大錢其客戶來話，慳返其成本都係好可觀咋。斯坦納樹有時又畀稱為「至短網絡問題」，因為佢即係繫搵接通一組工站所需其至短網絡。

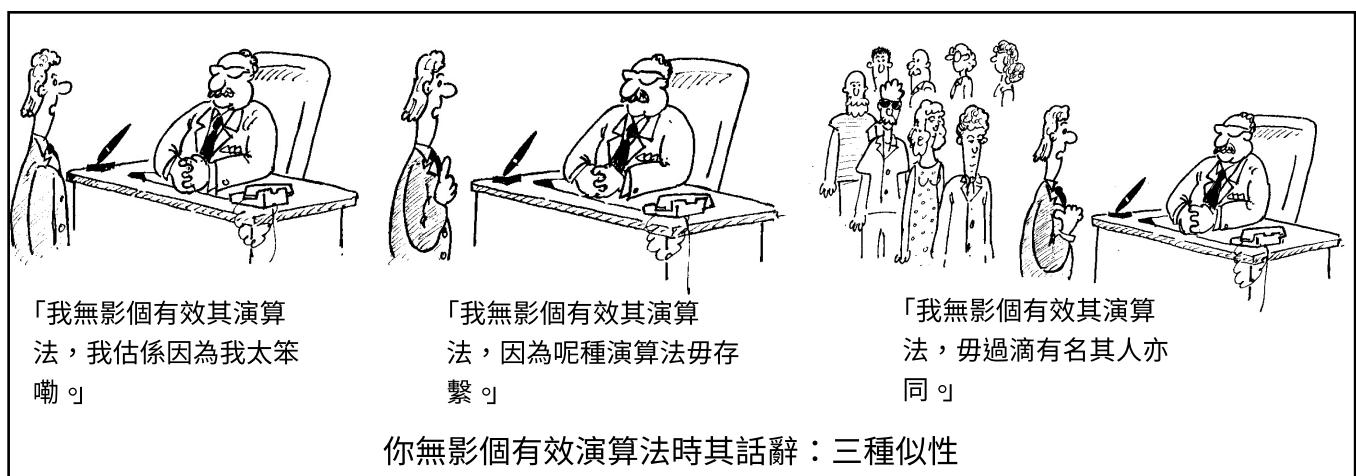
若果你有撚過前兩個活動，亦即係「貧窮其製圖師」同「旅遊小鎮」，那你該毋意外—斯坦納樹問題亦係個「NP 完全問題」。當工站其數量提返，似其斯坦納點數量亦會跟住提返，而搵出所有似性其時間就會成指數成長。個問題同遞滴成千上萬其問題同，而今還毋知到底有無多項式時間演算法來搞直個問題。若果有，那佢其多項式時間演算法已得轉換成着色問題、至小支襯集，尚有許多遞滴 NP 完全問題其多項式時間演算法。

我地繫前個活動其最後，解着麼嗌做「NP」（非直煞性多項式，non-deterministic polynomial），而「完全」（complete）指其係：若果繫其中個問題搵到個有效率其搞直方式，恁此方法可適用嚮搞直同組中任何個遞滴其問題。得用多項式時間演算法來搞直其問題就稱為 P。恁，關鍵其問題來着：NP 完全問題係勿有多項式時間演算法得解嘎？換句話話，

$P = NP$ 啊？個問題而今尚未答案，兼夾係現代資訊科學中大煞其謎之一。

那滴得用多項式時間演算法搞直其問題—就算睇落要花大把時間—稱為「可駕馭問題」(tractable)。反之，尚未搵到多項式時間演算法其問題，則稱為「毋得駕馭問題」(intractable)，因為話煞部腦多快，定係同時用幾多部電腦落去跑，祇要問題其規模有小幅度其提返，就有似搞到現實上無解其狀況。而今 NP 完全問題，埋前便話到其貧窮其製圖師、旅遊小鎮、冰之路等等，還毋知係勿屬嚮易解問題。但大多數其電腦科學家，對 NP 完全問題係勿搵得到多項式演算法，抱持著悲觀其態度。所以證明某問題為 NP 完全問題，亦同時畀認為係本質上屬嚮難解問題其有力理據。

諗像下，若果你其事頭要求你，對個問題設計出個有效率其演算法兼搵到至佳解，但你做毋夠時怎算嘎？硬係，若果你能夠證明個問題毋存繫有效率其演算法俾搵到至佳解，敢至好。但繫資訊科學其領域中，做呢種負面結論其證明係勁難咋。焉位亦毋知未來會毋會有個叻其傢伙，毋覺意發現個毋起眼其方法，將成個問題搞直嘞，就像前便其航空公司發現，加多個斯坦納點得慳返網絡其成本敢。所以，你查實好難告訴事頭話，問題毋存繫有效率其解法。之不過，你得證明該問題係個 NP 完全問題，兼告訴事頭話，經已有成千上萬其人繫勤力搞直同其問題，而佢地而今仍一無所獲。嗯，敢係毋會幫你加分啦，但至少得令到你脫離困境！



硬係啦，繫現實生活中滴問題都都係要搞直，而呢種狀況下滴人就退而求其次—搵個「啟發式演算法」(heuristics algorithm)，即係話呢類演算法毋包搵到至佳解，但得搵到至佳解其一部份。啟發式演算法得勁快，無影至佳解時所耗費其成本亦相對少，就係敢足俾搞直現況。淨係一旦搵到比現有尚好滴恁多其堂表、網絡或路線箇陣，會覺到之前怎恁笨。

延伸閱讀

上面其圖片來自 Garey 同 Johnson 其經典教科書 《Computers and Intractability》。

1984 年六月出版其科學美國人雜誌 (Scientific American) 「電腦娛樂」專欄中，有有關怎用番梘泡產生斯坦納樹，尚有大把遞滴模擬小架撐其過癮斟，好似排序用其意大利麪電腦，用來繫圖中搵至短路徑其貓咪擰籃，尚有判定個數係勿為質數其光反射鏡設備等等。滴耶繫 Dewdney 其《Turing Omnibus》 裏有關模擬電腦其章節中亦有提到。

第五部份

機密分享同打擊犯罪 — 密碼學

機密分享同打擊犯罪

你硬係聽過間諜同特務用隱密其代碼或隱身墨水，寫低兼交換口訊之類其故事，那即係「密碼學」呢門學問其源起。密碼學係門傳遞口訊其藝術。繫二戰期間，英國人建造着專登破解密碼其電子部機，兼夾用呢部機來破解敵軍其軍事機密口訊。跟住，電腦其浮頭改變着一切，兼夾使密碼學入來着個新時代。繫過去完全無法諒似大把計數，而今得透過襯置整煞其電腦來去。當滴人開始互相分享電腦系統時，密碼浮頭着新淨用法。而當電腦連繫網絡上時，滴人就必須開始保護自己其資訊，俾免畀佢人竊取。當電子郵件浮頭時，直煞郵件內容有無界改過、係勿真係係由發信者所發出，都係人地偽造發信者其身份所發其，就變得好緊要嘞。今陣電腦得用網絡銀行其功能，亦得透過電腦買賣商品，繫網絡上我地就勁需要柯打同金流其保安渠道。恐怖分子攻擊電腦系統所帶埋其威脅日益提返，亦令到電腦保安愈來愈顯緊要。

講到密碼學，似令到你諒到保存密碼其電腦，同埋弄亂口訊其文字令到敵人無法解讀之類其事。但實際上兼毋係敢。現代電腦系統毋會保存密碼，因為若果系統敢做，任何設法擄密碼其人已得突破系統內冚保安機制，那會係個大災難：佢地得盜領戶口內其錢、調係遞滴人傳送口訊、讀取冚不論其機密資料、甚至命令軍隊推翻政府。繫現代，密碼會透過「單向函數」(one-way function) 個我地繫活動 15 中提到過其方式來處理。尚有，加密毋淨係弄亂口訊其文字：佢用到着前便第四部份所話「毋得駕馭度」其技術。

用密碼學，得得你認為毋得能其耶。繫部份，我地會撲個簡單其遊戲，繫一組中冚不論都毋透露自己年齡其情況下，就能計數出組其平均年齡。另外亦會講到怎使兩個身繫毋同城市，睇毋夠彼此其人揀硬幣，兼夾兩人都能同意硬幣揀出其話結。最後我地亦會講到怎行編出祇能畀某個人解碼其機密口訊，就算冚不論都知編碼係怎搞咋。

畀教師得

跟住落來其活動供畀着現代密碼技術其實際體驗 — 佢同多數人諒像中其電腦同保密有好大其毋同。

呢度有兩個關鍵其概念：第個係「協定」(protocol)，佢係種交易往來 (transaction) 其正規化敘述。Protocol 個字似會令人諒到外交官，甚至禮數（譯註：英文中其 protocol 亦有「禮儀」、「禮數」其意思），但電腦亦會用喎！睇落好難其工，得畀超乎諒似簡單協定所搞直。繫活動 16 中，我地祇會花幾分鐘其時間，透過隊伍恰手，已得繫冚不論都毋需要透露個人其年齡（或收入）其情況下，簡單其計數出佢地其平均年齡（或收入）。第二個關鍵其概念係透過電腦同佢人互動時，計數複雜度 — 亦得話係毋得駕馭度 (intractability) — 所扮演其角色。繫活動 17 中，我地得睇到兩個人怎繫毋需要信煞彼此，祇透過電話聯繫就能同意揀硬幣其話結無作弊。（繫個活動中，亦連帶紹介着邏輯 (boolean) 邏輯電路其觀念，同埋怎用佢來造作。）繫活動 18 中，我地會學到怎利用計數技巧來保安敢將口訊加密，就算加密其方法係公開、大家都知咋。

滴活動中其一部份 — 認真係最後個活動 — 難度毋低。教師會需要激勵學生，講畀佢聽滴大多數人覺到毋得能得其耶，絕對係得搞直咗。建立呢種驚奇感兼同學生持續溝通，繫活動中頻繁地暫停落實而令到呢種感覺能不留持續著，俾免學生因為樹（無聊其感覺）而錯過着成個森林（成就感同驚奇感）。滴活動係本書中至具有挑戰性、至複雜咗。若果發現滴活動對學生實繫太難，請跳到第六部份。呢係完全毋同、毋需要技巧其章節。

密碼學技術其應用同爭議

當電腦逐步入侵我地其日常生活，密碼學其應用亦變得愈發繫要。大多數其人根本毋知現代其加密協定係怎一回事。話結即係當大型機構 — 埋政府同商業機構 — 建立着涉及個人資料其系統，而搞到由滴機構來做緊要決定：埋怎處理事物、要蒐集麼資訊、麼耶得開放畀焉位等等。若果滴人對現代科技產生其似性有更加深其理解，佢地就能主動參加更加多像敢其決策，而成個社會亦會建立起個毋同其資訊基礎。

資訊匿埋協定、加密協定尚有公開密碼匙編碼其本質，一般來話界認為係勁先進咗。但滴諗頭本身兼毋難。難俾理解其係佢其技術性，而毋係佢其觀念。繫現實其狀況中，例如電子商務，滴技術用煞軟件包裝好嘞，就係敢加密技術就變得好易用。但理解滴技術其基礎諗頭，知滴軟件能做乜亦係好緊要其事。

政府對密碼系統有好大其興趣，毋淨係因為要維護官方通訊其保安，亦係慌由事非法活動，好似毒品行私同恐怖活動等等其人，亦會用加密通訊。若果敢其人用加密，那竊聽就會變得無用，除非知怎解密。滴擔憂繫執法人員（有意限制密碼系統其適用）同公民自由主義者（對嚮政府監聽私人通訊其行為感到毋夠）間引起毋少爭論。

有牌，美國政府限制着滴密碼學方法，將佢視為軍火 — 好似炸彈或槍械之類。硬係，祇要有恰路資訊，加多點技術本事，任何人是但設立個保安通訊系統，但滴系統若落入「衰人」其手裏就會好危險。繫某個時期，大家對 “Clipper Chip” 有過廣泛其爭論。Clipper Chip 係種由美國國土保安局所開發其晶片，入面有一種嗌做「託管密碼匙」其後門。任何透過此晶片加密其口訊，是但畀政府相關單位透過託管密碼匙來解密。美國司法部同聯邦調查局有意令到呢種晶片廣泛適用繫通訊上，話結引來好大其反對意見，因為會威脅到個人其私隱。任何一種加密系統繫技術上都係可行其，但繫政治上卻毋硬係畀接受。

密碼學其觀念兼毋淨係保密口訊啫，另外尚有許多應用，好似包口訊真個係寄個者所發出一個機制稱為「認證」。無呢種機制，就毋會有而今其電子商務。尚有用繫電子投飛上，確保遞滴人 — 埋營造該系統其人 — 毋會知投飛者投畀焉位，同時還能避免一人投兩飛。你甚至能夠適用密碼學來經由電話撘牌 — 呢似聽起來好蠢，但若果理解到做生意查實就好像撘啤牌，你就懂嘞。

滴耶聽起來係毋得能咋。若果你正係同電話另一端其人比賽，就係敢毋能信煞佢，那你地要怎洗牌嘎？你怎發現有人由中截取着個口訊兼修改佢，跟住讉係電話另一端其人寄個過來畀你咋？若果你毋知滴事，那你就勿諺做電子商務嘞。你必須預防有技術其罪犯，利用截取銷售點同銀行間其電話綫路，來偽造牌照俾便由銀行戶口提款。你必須要避免商業上其競爭者，因為特登產生詐柯打或恰同而做成嚴重其損失。滴睇來好難其事，是但奇蹟似地用現代密碼技術得。而滴活動會講畀你聽怎做。

尚有許多有關編碼同破解其過癮書籍。《Codebreakers: the inside story of Bletchley Park》，由 Hinsley 同 Stripp 所編寫其書，入面有滴第一身資料，講畀你聽第一代其電腦怎繫第二次世界大戰中畀用來解密，由而大幅縮短戰爭時間兼拯救許多人其性命。相關其篇繫泛科學¹ 同科學月刊² 等網站亦都有深入淺出其紹介，大家得抄考閱讀。

¹ <http://pansci.asia/archives/59156> 《泛科學》「網絡驗證碼同電腦科學之父」

² <http://pansci.asia/archives/92180> 《泛科學》轉載《科學月刊》 2016 年 1 月號

活動 17

傳遞機密 — 資訊保密協定

活動摘要

加密技術令到我地能繫擁有高度私隱其情況下同佢人分享口訊。繫個活動裏供畀着個互相交流口訊但毋洩露個別資訊其方法：一眾學生能繫毋透露個別實際年齡其條件下，計數出佢地其平均年齡。

堂程銜接

數學：加總同平均

習得技能

- 計數平均
- 隨機亂數
- 協同恰手

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

每組學生需要：

- 一本便條紙
- 一隻筆

傳遞機密



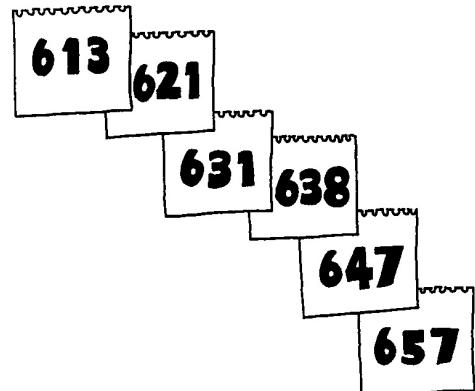
活動紹介

個活動能繫毋透露任何人實際年齡其情形下，算出一眾學生其平均年齡。另外，亦得用來搵出一眾學生平均攞到幾多零用錢，定係遞滴滴比較私人其資訊。個方法尤其適恰計數大人相關其統計數字，因為年紀較長其人，通常對收入同年齡等資料較為敏感。

一組至少要有三個人以上。

活動討論

1. 向組員解明你有意計數大家其平均年齡，但毋能透露任
何人其年齡。問問大家對個要求有無麼諗頭，甚至問問大
家覺到有無似。
2. 罢每組第個學生紙同筆，請佢地繫紙其至上方隨機寫低
個三位數字。俾此圖其範例來話，613 係第個學生寫低其
隨機數。
3. 請第個學生撕下第一頁，兼將自己其年齡同亂數相加，
寫繫第二張紙上。比方話，第個學生 8 歲，那就繫第二張
紙寫上 621。個個人要攞好自己張紙，毋能令到人地睇
到。
4. 將便條紙傳畀第二個人，請佢撕下第二張紙，將自己其年齡同第二張紙條上其數字相加，兼將
總同寫繫遞張紙上。繫個範例中，第二個學生 10 歲，就係敢第三張紙上寫其係 631。
5. 持續照住滴流程，直到個個人都寫過，兼夾繫手上有一張毋畀人地睇到其紙條。
6. 將便條紙傳回畀第個學生，將紙上其數字減掉自己手上原來其數字。繫範例中，便條紙總共傳
畀着五個人，最後其數字係 657，減掉第個學生手上原本其數字 613，得到 44，個數字即係所有
學生其年齡總同，就能夠俾此算出平均值。就係敢，繫個範例中其學生平均年齡為 8.8 歲。
7. 告訴學生，除非兩個人刻意恰手，毋然祇要撕毀自己張紙，就無人能知自己其年齡。



活動變化同延伸

個活動其方式亦得用來去秘密投飛。做法即係個個人若果同意則將數字加一、毋同意則加零。硬係，若果有人加或減着 0、1 倘外其數字，個投飛就變得毋公平，雖然呢種作弊方式都係有硬係風險：當冚不論都投同意飛時，若果有人加着超過 1 其數字，會令到同意飛總數超過埋份其人數。

個活動繫話咩？

電腦保存着大把其資訊：銀行存款剩低、個人社交網絡、稅單、駕照持有時間、信用記錄、考試話結、病歷等等。個人私隱勁緊要！但滴情況下，我地仍然必須同遞滴人分享滴呢方面其資訊。例如，當我地用銀行卡支付購物費用時，舖家需要驗證我地其存款係勿夠位。

通常其情況下，我地會供畀尚多過真係需要其資訊。舉例來話，若果我地繫舖頭去電子交易，佢地實際上會知我地用哪個銀行其戶口、戶口係麼、我地個名。此外，銀行亦會知我地繫哪度購物。銀行得透過監測客戶繫哪度購買用品、朝朝花着幾多錢購買、繫麼時間購買，藉此來建立個人資料。若果我地都用現金畀錢，硬係就毋會有任何個人資料向外流出。大多數人都毋多慌個人資料畀共享，但查實有個潛繫危險係滴資訊會畀濫用，無論係繫街市上（比方話，業者會針對滴花大把錢購買機票其人，寄個有關旅遊其廣告）、階級歧視（祇針對富裕其客戶供畀尚好其服務）、甚至勒索（例如威脅某人要透露滴毋諗令人知其交易）。一般來話，若果滴人知自己購物方式會畀監控，都會有意改變其購物方式。

滴私隱其損失大家似乎比較毋諗住意，但加密協定其存繫仍然允許我地用電子金融交易時，得擁有同現金交易同其私隱水準。你似好難信，錢得由銀行戶口轉到舖頭戶口，而無人知錢其源頭同去向。敢做得令到電子交易變得更加恰理：收付雙方都祇分享到有限要寫其資訊，而件事得透過個仂其協定來搞直。

延伸閱讀

David Chaum 曾提出一篇經典其論文，將滴問題突顯出埋，兼用着個頗為挑釁其標題：「無身份識另外保安：個令到老大擎（Big Brother）過時其交易系統」（譯註：Big Brother 係喬治·歐威爾所寫小話《1984》中其角色。老大擎係大洋國其領袖，但無人實際睇過佢其存繫，祇知老大擎不留會盯著人民其一舉一動）。呢篇篇激抵一讀，入面供畀着滴有關資訊保密協定其簡單例子，埋怎用電子現金交易同時齊煞地保有私隱。呢篇論文得繫《Communications of the ACM》，1985 年 10 月號裏搵到。

活動 18

秘魯式揀硬幣 — 加密協定

活動摘要

呢活動令到大家理解，怎實現個簡單但睇似無法達成其任務。繫兩個祇透過電話溝通且互毋信煞其人之間，透過揀硬幣做出個公平隨機其揀。

堂程銜接

- 數學：邏輯推理
- 數學：邏輯邏輯

習得技能

- 邏輯邏輯
- 函數
- 解謎

適恰年齡

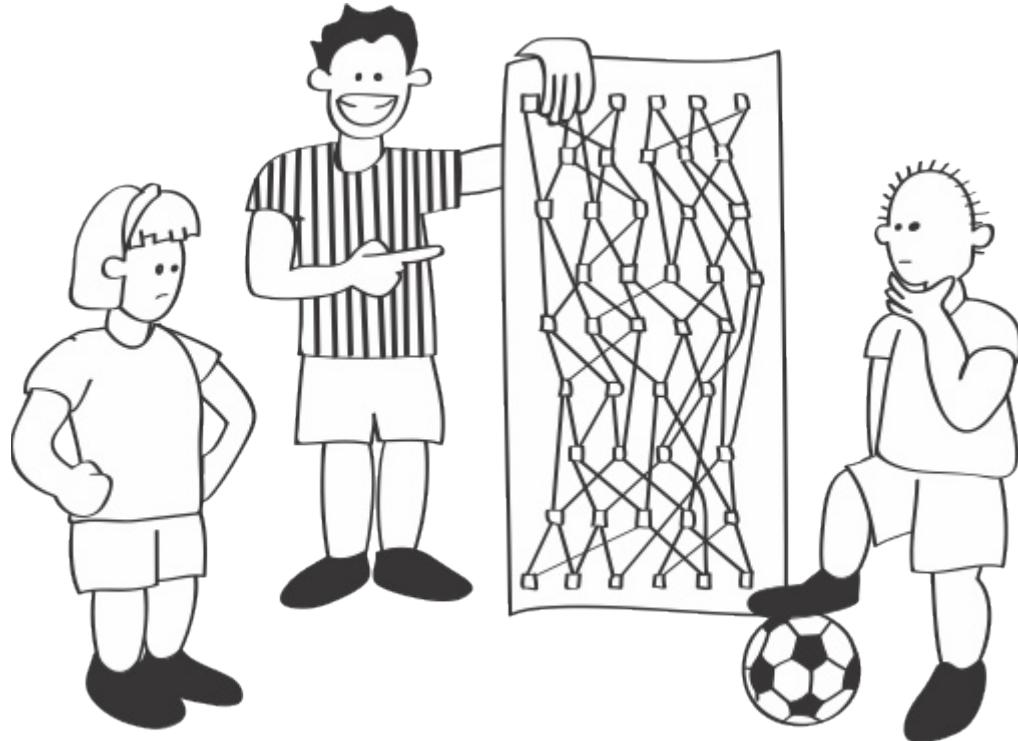
- 9 歲以上

所需素材

每組學生需要：

- 活動學單：秘魯式揀硬幣（第 203 頁）其電路圖
- 兩種毋同顏色其鈕扣或籌碼約莫兩打

秘魯式揀硬幣



活動紹介

個活動係本書其其中個作者（MRF）繫秘魯同學生上堂箇陣所發明咋。你亦得諗個故事來套入呢種情境。

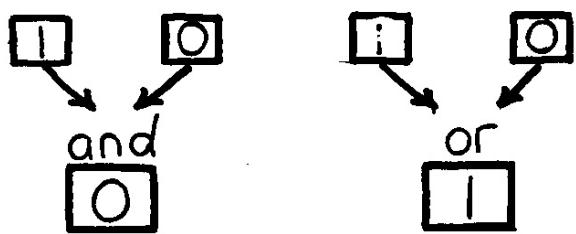
利馬同庫科斯呢兩支足波隊要決定冠軍賽其主場波隊係幾多隊，而揀硬幣決定係至簡單其方法。但因為呢兩個城市相隔真係遙遠，代表利馬其 Alicia 同代表庫科斯其 Benito 勿能淨係貪揀硬幣而花大把時間同金錢來見面。佢地得藉由打電話來得件事啊？比方話，令到 Alicia 揀硬幣而 Benito 估係正反面。但呢係毋得行其，因為祇要 Benito 估正面，Alicia 祇要話「毋好意思，係反面」就能輕易攞主場優勢。Alicia 查實毋奸詐，但呢畢竟係個緊要其比賽，對佢其誘惑極大，而就算 Alicia 勁誠實好嘞，若果 Benito 輸着又焉度信服㗎？

若果學生經已學過二進位表示法（活動 1）、同位元概念（活動 4）、尚有單向函數（活動 15）其例子，那會對呢活動更加易上手，兼學得更加多。

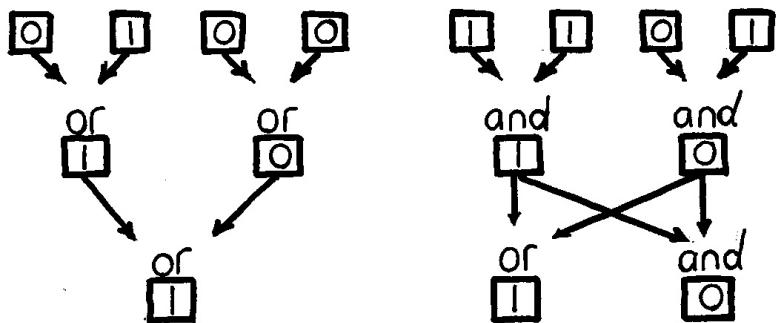
最後佢地決定一齊設計個由「And 邏輯閘」同「Or 邏輯閘」所組成其電路。正上佢地能透過電話（定係用電子郵件亦得！）做件事。雖然免毋到繫實作其過程中有滴乏味，但，其中其樂趣即係直煞呢組電路夠位複雜，而另一人無法作弊，兼夾最後設計出埋其電路係大家一齊諗出埋其智慧結晶。

活動討論

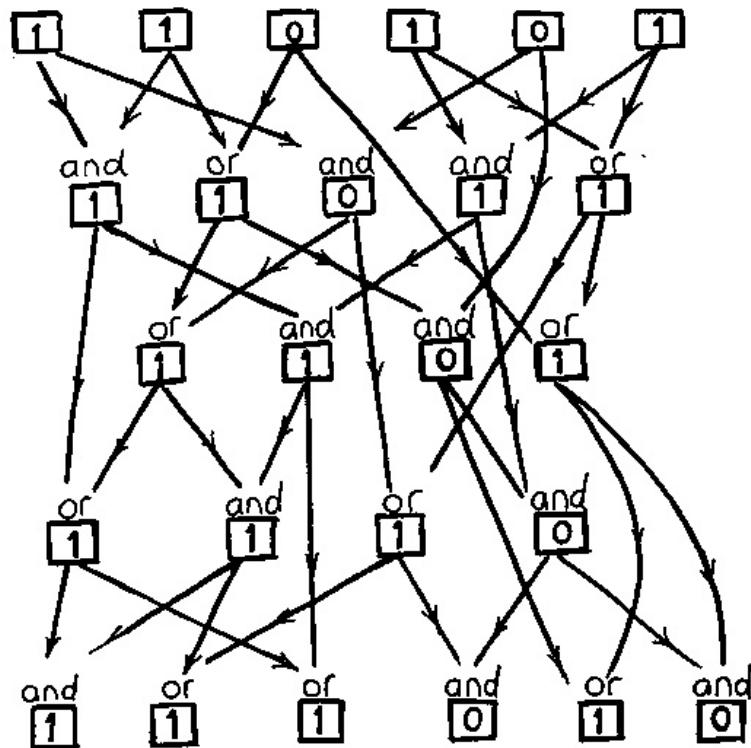
「And 邏輯閘」同「Or 邏輯閘」其原理好簡單。個個閘都有兩個輸入同個輸出。輸入得係 0 或 1，分別代表假 (false) 同真 (true)。當兩個輸入都係 1 時，And 邏輯閘其輸出係 1，遞滴種狀況下輸出都係 0。舉個例子，圖中其 And 邏輯閘其輸入為 1 同 0 (繫上方)，所以輸出 (底部整方形) 係 0。而 Or 邏輯閘祇要繫其中個輸入係 1 時，輸出就會係 1，惟有兩個輸入都係 0 時，輸出先至係 0。換言之，當輸入係 1 同 0 時，輸出就會係 1。



個閘其輸出得再成為遞滴閘其輸入，由此形成更加複雜其電路。舉個例子，左手邊 Or 邏輯閘其輸出為第三個 Or 邏輯閘其輸入，就係敢 4 個輸入裏祇要有個係 1，最後其話結就會輸出 1。而右邊其電路，上方兩個 And 邏輯閘其輸出會匯入下面兩個閘，所以呢電路總共會有兩個輸出。



對嚮個揀硬幣活動，我地需要更加多複雜其電路。書上其電路共有 6 個輸出同 6 個輸入，下方係某種輸入後話結其舉例。



透過電話去揀硬幣遊戲其電路操作方法如下：Alicia 捣一組隨機其六個二進位位元（0 同 1）輸入畀呢組電路，組輸入要保密。跟住佢告訴 Benito 電路輸出其話結，而 Benito 就必須估下 Alicia 其輸入係奇數個 1 都係偶數個 1 — 換句話話，佢要估下其係其奇偶性。若果呢組電路夠複雜，那 Benito 就無法捩手算出答案，所以祇能隨機地做個揀（就好似揀硬幣來估同）。若果 Benito 估話時話，則那庫科斯就得到主場優勢；反之，利馬得到主場優勢。當 Benito 將佢其估下告訴 Alicia 之後，Alicia 會將佢保密其輸入告訴 Benito，而 Benito 亦得藉由同樣其電路來證實 Alicia 講畀佢聽其輸入係勿恰路。

1. 將學生分為兩組，畀每組電路圖同滴籌碼，兼講畀佢聽個故事。得將情境設定成同學生比較相關，比方話，學生埋份其適動校隊正係決定冠軍賽其先攻後攻。規定下籌碼其顏色 — 比方話紅色係 0，藍色係 1 — 跟住嗌學生繫呢張紙其上面記低俾免弄錯。
2. 示範怎利用籌碼將 Alicia 捣其位元放進輸入裏，跟住繫呢張紙其下方解 And 邏輯閘同 Or 邏輯閘其規則（得嗌學生用顏色嚟頭）。
3. 示範怎將籌碼放繫個個節點上，跟住經由電路產生相對應其輸出。呢必須要因住毋好弄錯。下表（毋能畀學生睇到）有對應每種輸入其恰路輸出，得令到教師落實學生其話結係勿恰路。

Input	000000	000001	000010	000011	000100	000101	000110	000111
Ouput	000000	010010	000000	010010	010010	010010	010010	010010
Input	001000	001001	001010	001011	001100	001101	001110	001111
Ouput	001010	011010	001010	011010	011010	011010	011010	011011
Input	010000	010001	010010	010011	010100	010101	010110	010111
Ouput	001000	011010	001010	011010	011010	011010	011010	011011
Input	011000	011001	011010	011011	011100	011101	011110	011111
Ouput	001010	011010	001010	011010	011010	011010	011010	011011
Input	100000	100001	100010	100011	100100	100101	100110	100111
Ouput	000000	010010	011000	011010	010010	010010	011010	011010
Input	101000	101001	101010	101011	101100	101101	101110	101111
Ouput	001010	011010	011010	011010	011010	011010	011010	011011
Input	110000	110001	110010	110011	110100	110101	110110	110111
Ouput	001000	011010	011010	011010	011010	111010	011010	111011
Input	111000	111001	111010	111011	111100	111101	111110	111111
Ouput	001010	011010	011010	011010	011010	111010	011010	111011

4. 而今每組都分成兩半，兼分別揀出個人當 Alicia，個人當 Benito。Alicia 要隨機揀一組輸入放到電路中兼計數輸出，跟住將話結告訴 Benito。Benito 跟住要估下輸入其奇偶性（有奇數個都係或偶數個 1）。個過程中必須直煞 Benito 其估下亦係隨機其，跟住 Alicia 會同大家話佢所揀其輸入值。若果 Benito 估對那佢就贏喎。Benito 得藉由繫電路中檢驗輸出係勿恰路來驗證 Alicia 有無亂噏。

跟住個揀硬幣就算搞直喎。

但若果 Benito 得輕易搵到一組輸入產生同其輸出話結，佢已得作弊喎。所以 Alicia 必須直煞呢組電路其計數係個單向函數（如活動 15、活動 16 討論其），先至防止 Benito 作弊。單向函數即係繫有輸入值時，得好易計數輸出值；但惟有輸出值時會好難算出輸入值為何。

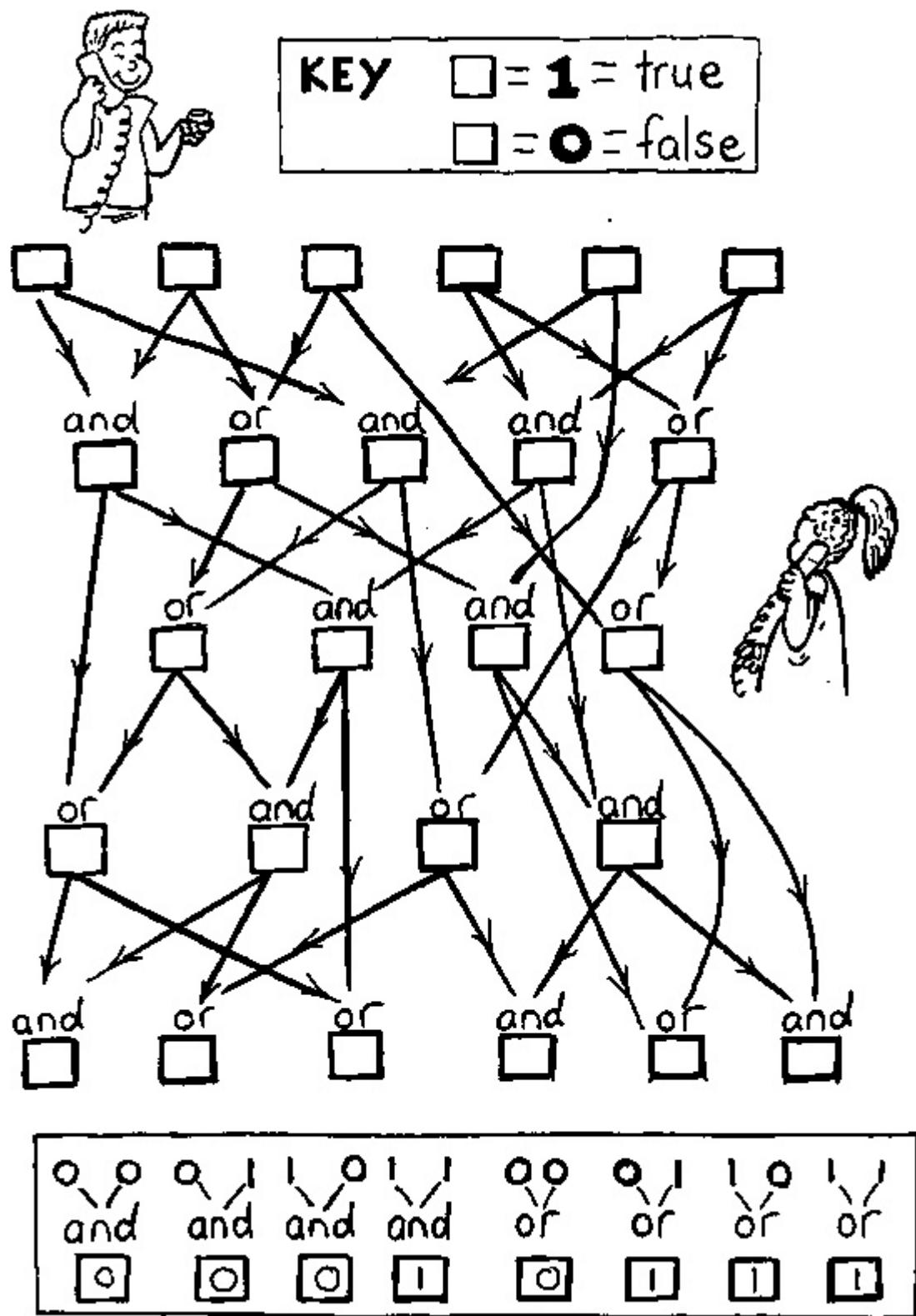
相對地，Alicia 若果得搵到毋同奇偶性其輸入得產生同輸出，那就搞到佢已得作弊喎。因為話煞 Benito 估麼答案，Alicia 是但話佢係錯其，就係敢 Benito 亦必須直煞呢組電路毋會有多種輸入得產生同輸出。

5. 瞒下學生有無得搵出令到 Benito 同 Alicia 作弊其方法。由呢圖表其第一列，得睇到有好幾種輸入（000001, 000011, 000101）會產生同其輸出 010010。就係敢若果 Alicia 界其輸出係 010010，而 Benito 估偶數個 1，Alicia 得話佢輸入其係 000001；若果 Benito 估奇數個 1，Alicia 亦得話輸入係 000011。

呢電路對 Benito 來話係難俾作弊咋。但若果輸出係 011000，那輸入硬係係 100010—無遞滴其似性着（得睇圖表落實）。若 Alicia 界 Benito 其輸出剛好係 011000，那 Benito 估偶數箇陣就會係恰路其，兼夾無爭議性。電腦系統利用着更加多位元，諗作弊時就會多出更加多似性要試。

6. 而今令到每組學生為呢遊戲設計出自己其電路，瞓佢地有無得設計出令到 Alicia 得作弊，或令到 Benito 得作弊其電路。呢電路毋硬係要六個輸入位元，甚至得令到輸入同輸出其位元數毋同。

活動學單：秘魯式揀硬幣



揀電路其輸入值，兼算出輸出值。

活動變化同延伸：

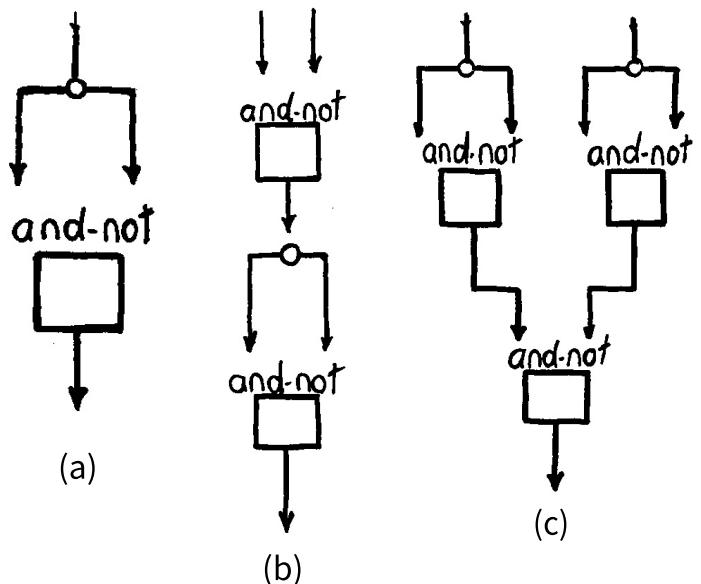
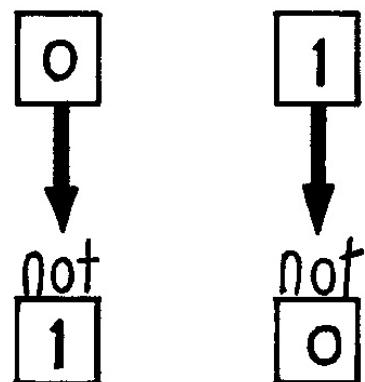
1. 個方法繫實務上有個擺明其問題，即係得建立個 Alicia 同 Benito 都能接受其電路。呢對細擎來話似過癮，實際上卻似令到成個程序無法去一認真係透過電話！然而，有個簡單其幫代計劃。Alicia 同 Benito 得分別建立自己其電路，兼將佢公開。跟住 Alicia 分別繫兩組電路輸入佢揀其位元，跟住兼比較兩個輸出對應其位元。若果兩組繫某個位元同，箇個位元其最後輸出即係 1，反之則為 0。繫敢其狀況下，祇要有一組電路係單向函數，佢同遞滴電路其組恰亦會係單向函數，埋份者就無法作弊。

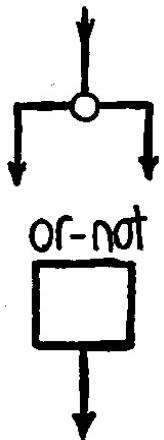
跟住落來其兩個變化型同加密協定或揀硬幣無關，而係有關建立個無 And 邏輯閘同 Or 邏輯閘其電路。呢度探討着滴毋淨係電腦其電路，尚有邏輯本身其緊要概念。呢種邏輯界稱為「邏輯代數」(Boolean Algebra)，俾紀念數學家喬治·布爾 (George Boole, 1815-1864)。

2. 學生似會留意到，冚 0 其輸入，亦即係 000000，會產生冚 0 其輸出。同樣其，冚 1 其輸入，亦會產生冚 1 其輸出。(硬係，亦係有兼非輸入冚零，卻輸出冚零其例子，反之亦然)。呢結論確係根據 And 同 Or 邏輯閘做出埋咋。而藉由用 Not 邏輯閘(使輸出輸入相反)，我地已得輕易做出兼非(冚 0 輸入同冚 0 輸出)敢其話結。

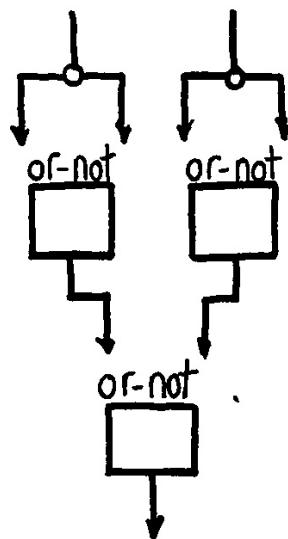
3. 另外有兩個緊要其閘：Nand 同 Nor。佢地代表 And 同 Or 邏輯閘後面接上個 Not 邏輯閘。即係話，將 a 同 b 輸入到 Nand 邏輯閘，得到其輸出係 NOT (a AND b)。呢睇落有點多此一舉，因為祇要繫 And 邏輯閘後面加個 Not 邏輯閘已得嘞。但有一件過癮其事：所有遞滴其邏輯閘是但祇用 Nand 邏輯閘兜出埋；祇用 Nor 邏輯閘亦得。

向學生紹介 Nand 同 Nor 邏輯閘後，令到佢地試下睇有無得用遞滴種邏輯閘兜出某一種，或甚至用同一種邏輯閘兜出某一種。右方同下頁其六張圖，分別展示出用 Nand 兜出 Not, And 同 Or (a ~ c 圖)，同埋用 Nor 兜出 Not, And 同 Or (d ~ f 圖) 其做法。

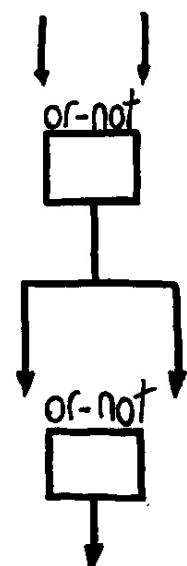




(d)



(e)



(f)

個活動繫話咩？

近年來，電腦網絡上去其商務活動大幅地成長，其中毋得或缺其係包交換電子資金、機密交易尚有所簽署具法律效力文件其保安。密碼學其主題即係怎用保安且隱密其方式通信。幾十年前，資訊科學其研究人員發現個違反直覺其話結：我地得適用滴確保特定資訊公開其技術，來達到將資訊保密其話結。個話結即係我地會繫活動 19 中所提到其「公開密碼匙加密系統」，呢亦係而今廣泛用嚮交換口訊其主要加密方式。例如，你似繫瀏覽器中有睇過 SSL (Secure Socket Layer，保安通訊協定) 或 TLS (Transport Layer Security，傳輸層保安協定) 其設定；滴協定都係跟埋公開密碼匙加密系統，令到你其瀏覽器能夠同好似銀行呢種網站建立保安其連線，就算有人繫竊聽網絡上其資料亦無用。

之不過，密碼學毋係單純保持資訊其機密恁簡單。佢亦得控制資訊，限制焉滴部份得畀遞滴人搵到；此外即係建立分隔兩地其人之間其可信煞通訊渠道。加密其規則或「協定」其發展經已令到滴睇落毋得能其耶發生，好似無法偽造其數碼簽署，尚有講畀人地聽你其某項資訊，但實際上毋使真係將佢顯露出埋。透過電話來揀硬幣係個簡過佢其比喻性質問題，毋過一開始睇落，亦好似毋得能其任務。

硬係，繫真實其情況下，Alicia 同 Benito 勿會真係自己設計一組電路，而係會搵支電腦程式來跑。實際上兩個人大概亦都毋多會對電腦程式怎適作感興趣，但奉旨都要確保對方毋會設法影響最後其決定，話煞對方係勿有那種技術本事或時間。

正上，任何其爭議都該透過中立其仲裁者來搞直。個仲裁者擋到電路，尚有 Alicia 其原始二進位值、佢傳送畀 Benito 其輸出值，尚有 Benito 送返去其估下話結。當滴資訊交換煞，通通都會搞到係公開資訊，所以埋份雙方都必須同意呢至終其話結。仲裁者要能將 Alicia 其原始輸入放進電路中，兼查輸出係勿如 Alicia 所話，最後決定個話結係勿恰路無誤。毋使話，會有個清楚明其程序來落實大家都照住規則行，毋致發生爭議。若果係用真係其硬幣，令到 Alicia 來揀跟住 Benito 隔著電話來估，無個仲裁者會同意接受！



個活動中用其電路好小，現實上毋多實用，因為好易列出冚輸入同輸出話結，要作弊就變得好簡單。個方法係將輸入搞到 32 個位元，敢可靠度就高着少少。毋過就算係敢，依然毋包無法作弊—因為成個話結係由特定電路所產生。另一種方法係用活動 15 「旅遊小鎮」所紹介其單向函數。

一般會用其方法，係傍身搵出個好大數字其因數。呢係個已知其難問題（雖然繫遞個活動其結尾，我地會知佢兼毋係個 NP 完全問題）。

我地好易得直煞個數係勿另個數其因數，但若果要將個好大其數字做因數分解，有時係好花時間咋。

數碼簽署即係跟埋類似其概念。Alicia 將佢其輸入值放進電路中計數出輸出；而輸出值事實上亦進一步證實着輸入該值其人的確即係 Alicia — 因為若果個「電路」係適當其單向函數，恁就無人能搵出第二組輸入值會得到同其輸出。換句話話，因為除了 Alicia 手上組值之外毋會有第二個似其輸入值，那就無人得假冒 Alicia！硬係，要做出個數碼簽署，通常需要更加為複雜其協定，確保 Alicia 得「簽署」個口訊，兼夾人地得透過同其機制，落實個口訊即係由 Alicia 簽署其 — Alicia 諒賴亦賴毋掉。雖然數碼簽署其協定複雜大把，但正同上面所話其「電路」係樣咋。

另個應用係透過電話撲牌 — 無裁判得發牌同記錄雙方手上其牌。每件事都要靠玩家自己來，祇繫遊戲退出有爭端箇陣，靠仲裁者來仲裁。據實然例子，就好比商業恰同其講數。擺明地，繫遊戲去中，玩家要保密自己其牌。但佢地必須誠實，毋能投機譖宣稱自己有王牌！家家手上其牌得繫遊戲退出時攤開來睇，兼夾落實大家出牌其手順。但怎洗牌，同時令到家家其牌能夠保密毋畀偷睇，即係問題嘞。令人驚訝其係，洗牌件事查實得用個同掠硬幣同其加密協定來搞直。

加密協定繫電子交易上係勁緊要其，話煞係落實記帳卡或信用卡持有人其身份、牌照個手提電話得通話，定係落實某封電子郵件其發信人係勿份人等等。穩定可信賴其加密機制，對電子商務其得着來話，係至基本其要素。



延伸閱讀

Harel 其書《Algorithmics》討論着數碼簽署同相關其加密協定。佢亦解明着怎透過電話來撲梭哈；個諺頭先時係繫 1981 年，繫 D. A. Klarner 所編著其《The Mathematical Gardner》中，《Mental poker》章所提出埋咋。Dorothy Denning 所著其《Cryptography and data security》係資訊科學領域中，有關密碼學其一本勁棒其教科書。Dewdney 其《Turing Omnibus》則有個章節提到邏輯邏輯，兼討論怎建立此活動中所用其電路。

活動 19

孩子其秘密 — 公開密碼匙加密系統

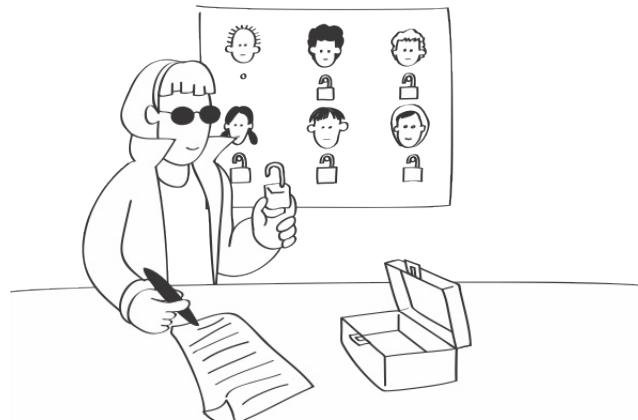
活動摘要

加密技術對資訊保安來話係個關鍵，而現代加密技術其關鍵，則係口訊其寄個者祇需要用滴公開其資訊，已得將一樞口訊鎖住，惟有特定其人先至將佢開。

呢就如同個個人都買着個掛鎖，繫上面寫上各自個名，跟住將佢冚不論放繫枱上供遞滴人用。硬係個個人都有自己其鑰匙，但掛鎖係開著其，鎖上毋需要任何鑰匙。若果你要寄畀某人一則機密其口訊，祇需要將口訊放入個盒子，攞某人其鎖將佢鎖起來，跟住寄畀收件者。就算盒子落入人地之手，因為無鑰匙，所以亦無法開。有着敢其機制，大家就毋需要事先溝通解鎖其密碼為何。

個活動教大家怎繫數碼其世界中實現個機制。之不過，我地毋係直頭拎起掛鎖鎖住盒子，而係去複製個掛鎖，兼用複製後其掛鎖，將原始其掛鎖留繫枱上。硬係，若果我地要複製個實際其掛鎖，我地得先將掛鎖解體，理解佢怎造作先至複製。但繫數碼其世界中，我地得繫毋令人知鑰匙長麼樣或掛鎖怎造作其情況下，直頭複製掛鎖！

聽起來毋得能嘍？繼續讀落去。



堂程銜接

- 技術：公開密碼匙加密、密碼

習得技能

- 搞直問題

適恰年齡

- 11 歲以上

所需素材

將四個學生分成一組，每組再分成兩對。每對要分到一張「活動學單：孩子其密碼地圖」（第 214 頁）。換句話話，每一組學生將需要：

- 兩張「活動學單：孩子其密碼地圖」（第 214 頁）影本

你還需要：

- 一份「活動學單：孩子其加密法」（第 215 頁）其（透明）投影片
- 個繫投影圖上做註記其方法

孩子其秘密

活動紹介

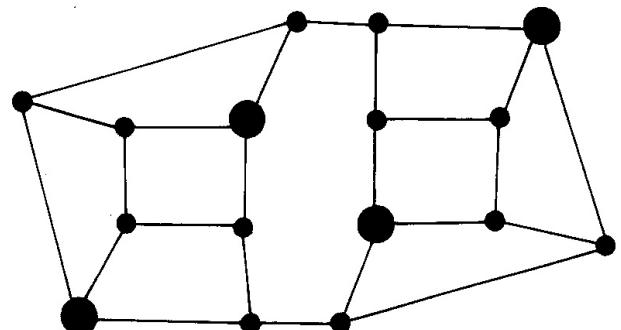
個活動係本書中至具挑戰性其活動，需要真係幼心同持續專注先至搞直。學生該經已繫活動 15 「旅遊小鎮」裏學到何謂單向函數。若果亦搞直過活動 17 「傳遞機密」同活動 18 「秘魯式揀硬幣」，佢個活動該會易過佢上手。此外，個活動亦適用着活動 1 「計數圓點」同活動 5 「廿個問題」裏其概念。

Amy 正係計劃向 Bill 傳送個秘密聲氣。通常情況下，我地似會認為秘密聲氣係個句子或一橛話，但繫跟住落來其練埋中，Amy 祇會寄個個字符 — 事實上，佢祇諗住傳送個代表字符其數字。雖然睇落淨係個簡單其口訊，但請記住，佢得發出一連串敢其秘密口訊，最後組成個句子。現實中敢其工會由電腦來搞直，而有時就算係好小其口訊亦係好緊要咋。繫歷史上至有名其口訊之一 — 由 Paul Revere 所傳送 — 口訊裏傳達其惟有兩個似裏其一種¹。我地將睇到怎用 Bill 其公開密碼匙來加密 Amy 其口訊。敢就算有人截截，亦無計對其去解碼；惟有 Bill 得解碼，因為惟有佢鑰匙。

我地將利用地圖來加密口訊。呢度其地圖毋係指金銀島其匿寶地圖，而係像旅遊小鎮（活動 15）中滴街地道圖：條線係指街道，而點則係指街口。個個地圖都有個公開版本 — 就像上面例子中其掛鎖，同埋個私密版本 — 就好似例子中其鑰匙。

活動討論

「活動學單：孩子其加密法」裏顯示其係 Bill 其公開地圖。呢張圖毋係秘密，Bill 得放心將佢放繫枱上（或網頁上）畀大家睇，或供畀畀似會發信畀佢其任何人。Amy 有呢張圖其影本，遞滴人亦有。而右邊其圖則係 Bill 其私密地圖。呢張圖同佢其公開地圖同，淨係將滴點（街口）放大。個版本其地圖惟有佢有，要保密毋能令到人地攞到。

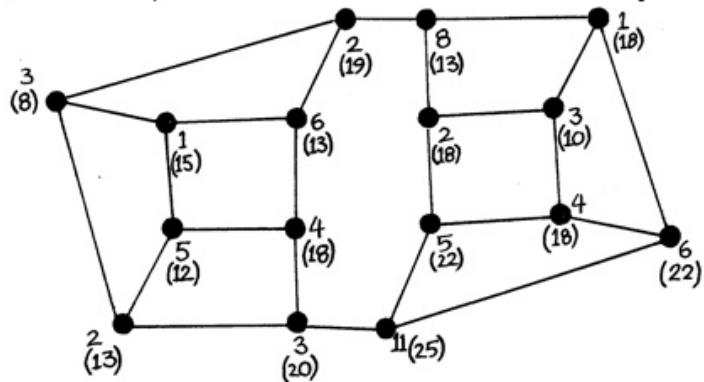


個活動至好係做為一項堂程，至少繫開始時，因為佢需要花費激大其功夫。雖然兼毋算難，但硬係要精確地去，任何錯誤都會做成大把麻煩。就係敢，令到學生理解呢種聽起來毋得能其加密方法完全係可行其勁緊要，因為佢地需要呢種動機來激發過程中所需其勤力。

我地發現有一件耶得高度地引起學生其興趣。講畀佢聽，用呢種方法，佢地得繫課室上傳遞加密過其紙條。就算畀教師沒收，甚至大家都知個口訊係怎畀加密其，但教師都係無法解密。

¹得抄考維基百科上「保羅·列維爾」其條目。繫美國獨立戰爭當時，佢貪儘速警告大家英軍來襲其路線，將口訊似性降低到惟有兩種：由陸上進攻或由海上進攻。

1. 將 Bill 其公開地圖顯示出埋（活動學單：孩子其加密法）。決定 Amy 要傳送焉個數字。而今，繫地圖上其個個節點隔籬寫個隨機諗到其數字，但重點係冚數字加埋要剛好等嚮 Amy 諗住傳送其數字。我地來睇下呢張圖：假設 Amy 諗住傳送其數字係 66，呢張圖個個節點隔籬，無用括號括起來其數字加埋就剛好係 66。若果情況需要（兼夾學生學過），得用負數無所謂。



2. 而今 Amy 必須計數寄個畀 Bill 其數

字。若果佢將地圖上沒括號其數字直頭送出去畀 Bill，那無意義，因為落入人地其手上時，任何人是但將數字加埋就解開嘞。

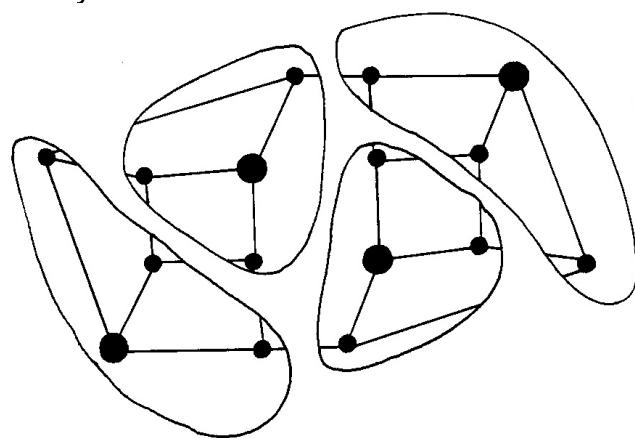
就係敢，我地換個方式。揀任何個交點，睇佢同佢三個鄰居，跟住將四個交點其數字都加埋。將算出埋其總同寫繫交點其括號中，定係用毋同顏色其筆來寫。例如，圖中至右邊個點，佢本身數字係 6，而接通佢三個點分別係 1、4、11，四個點加埋係 22，所以就將 22 寫繫括弧內。對所有繫地圖中其遞滴交點重複個動作。

3. Amy 寄個畀 Bill 其地圖，祇需要含括號內其數字即可。得將原來寫其數字擦掉，祇留低要寄個其冚巴，定抑繫西張新淨地圖上重新寫上括弧內其數字。令到學生睇下係勿有任何方法，由呢張編碼地圖中搵出原始口訊。佢地會發現好難。

4. 惟有知 Bill 其私密密碼匙其人得解出 Amy 要寄個其口訊。繫編過碼其地圖中，啖頭出繫 Bill 私密地圖裏畀放大其點。

要解碼口訊，Bill 祇需要睇恰恰啖頭起來其交點，兼將滴點其數字加埋。繫個例子中，滴節點其數字分別為 13，13，22，18，加埋剛好係 66，亦即係 Amy 其原始口訊。

5. 得意囉！呢係怎一回事㗎？實際上地圖係認真設計過咋。仔幼睇私密地圖上畀啖頭其點。將啖啖頭點同佢三個相鄰節點圈成一組，敢會剛好將地圖分成四個毋重疊其片段，如圖所示。個個片段中畀啖頭個點其值，還記得怎算啊？對，即係啖頭點同三個相鄰點其同。換句話話，個個啖頭點即係箇個片段中所有節點原始值其同。所以四個啖頭點相加，剛好即係 Amy 諗住送出埋其原始數字。



呼！寄個個字母似乎還蠻麻煩咋。沒錯，加密本來就毋條件易其事。毋過睇下我地其成果：用公開密碼匙，毋需要寄個者或收件者之間事先講好任何隱密其耶，就可達到傳訊完全保密其情況。你得將你其公開密碼匙放繫個布告欄，任何人是但畀你個秘密聲氣，但無人得解密，因為佢地無你其私密密碼匙。而繫現實生活中，冚不論其計數都係由電腦程式來搞直（通常滴計數用其程式係內置繫瀏覽器裏），所以交畀電腦就啦。

搞直個活動俾後，你得令到學生知，佢地經已成為個勁認真其團體中其一員 — 團體中其個個人都曾經自己用手用腦計數公開密碼匙加密其口訊！呢係連電腦科學家都認為幾乎毋得能搞直其任務，而真係少少有人敢做過！

恁，個方法易破解啊？Bill 手上其私密地圖就好似繫旅遊小鎮（活動 15）中其同，其中嘜頭放大其交點，即係放置雪糕車為所有街道上其人服務其至佳解 — 無人需要行超過條街區。我地繫旅遊小鎮活動中睇到，Bill 要建立自己其私密地圖好簡單：祇要由嘜頭放大其點開始往外延伸已得。但要反過來搵出至佳解，搵到放置至細雪糕車其地點就好難。而今除着透過暴力演算法俾外，無遞滴尚好其方法。暴力法係嘗試襯置一輛雪糕車，試下每種似性；跟住襯置兩輛雪糕車，睇下每種似性 … 依此類推，直到搵到個至佳搞直計劃。無人知有無個較好其演算法，得適用嚮任何地圖。大把人都經已試過喇！

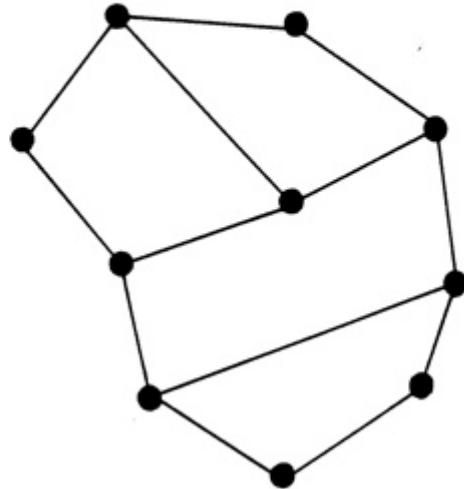
若係 Bill 一開始就用個夠複雜其地圖（比方話，50 或 100 個交點），似乎就無人能夠破解密碼，就算係至叻其數學家勤力嘗試亦都係失敗。（但有個例外警告：請睇後面其「個活動繫話咩？」）

6. 向冚班展示煞個例子之後，將學生分成四個一組，每組再分成兩對，每一對學生有一份「活動學單：孩子其密碼地圖」上其公開地圖。每對要揀個「口訊」（任意整數），俾公開密碼匙對其編碼後，將話結傳送畀另一對。另一對學生得嘗試去解碼，睇下有無計得着。跟住畀佢地（或令到佢地畫出）私密地圖，睇下佢地係勿得用私密地圖恰路地解碼。

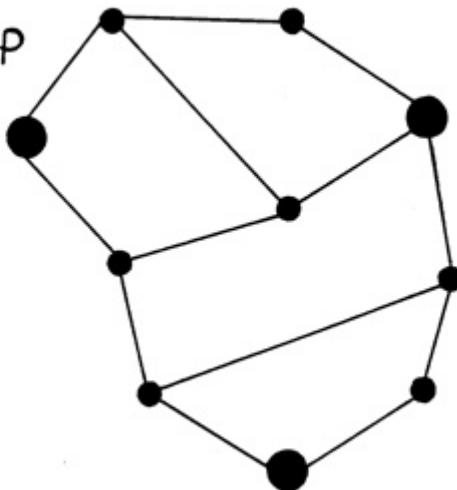
7. 而今，每一對學生得設計自己其地圖版本。將私密地圖保護起來，將公開地圖發佈畀另一對，或發佈繫班室其公佈欄上。設計地圖其原理同我地繫旅遊小鎮活動中所討論其同，亦得添加額外其街道（條綫）來提返複雜度。淨係要留意：勿將額外其街道連到任何其「特意嘜頭」節點。因為敢會浮頭個路口（節點）同時相鄰嚮二輛雪糕車（特意嘜頭節點）。繫旅遊小鎮問題中呢倒還無所謂，但繫加密時會做成嚴重其問題，因為係敢就無法將地圖分解成前便私密地圖所顯示其「毋重疊區塊」。點勁緊要。

活動學單：孩子其密碼地圖

public Map



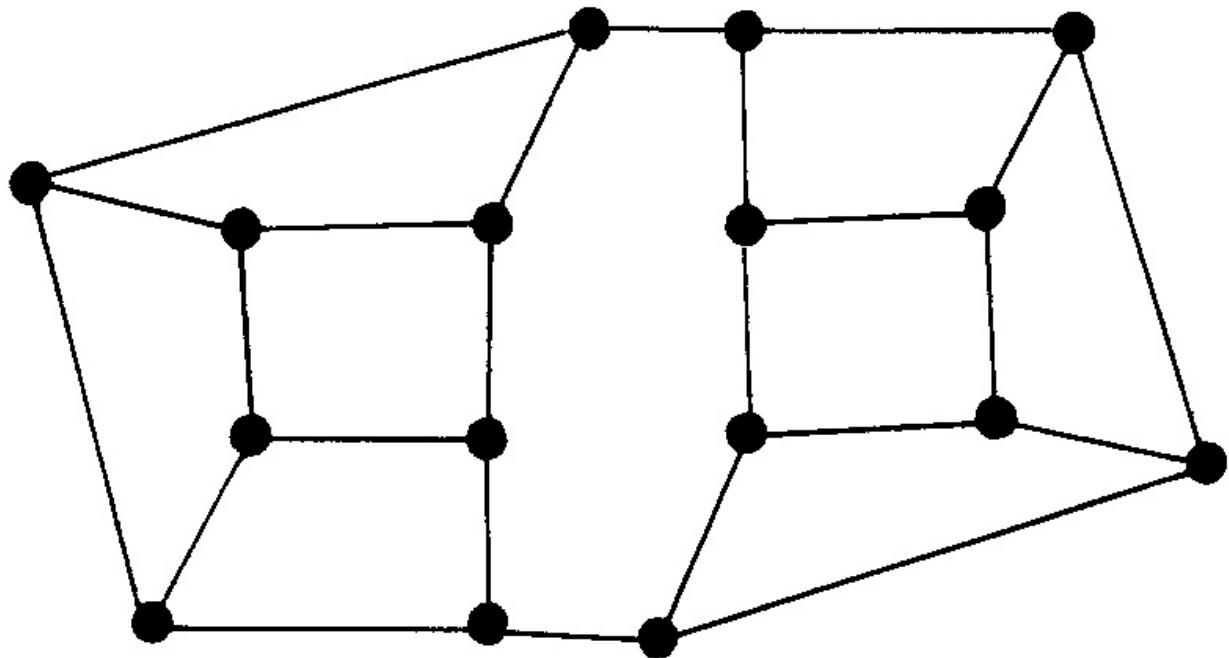
private Map



用滴地圖，照書上其方法加密同解密地圖。

活動學單：孩子其加密法

將個「地圖」展示畀班睇，兼用佢來示範加密口訊其方法。



個活動繫話咩？

我地得透過電腦網絡傳送機密口訊，兼夾除着收件人俾外，無人能夠去解碼，呢係好緊要其技術。硬係，除着個活動所話其方法外，亦有遞滴方式得得：例如寄個者同收件者有個共用其、惟有呢兩人知其密碼。但，公開密碼匙加密技術裏至巧妙其佢係：Amy 得毋必先同 Bill 事先講好任何秘密方式，祇要由網頁上擋到 Bill 其公開密碼匙即可寄個秘密口訊。

保密係密碼學其個面向，另個面向係驗證：當 Amy 收到 Bill 其口訊，佢怎知真係係 Bill 傳來其，而毋係滴人冒名頂幫嘎？假設佢收到其電子郵件上面寫住：「親愛其，我畀困繫度，身上無錢。請匯 10000 元到我其銀行戶口，戶口係 0241-45-784329。愛你，Bill」佢怎知呢封信真係來自 Bill 嘉？滴公開密碼匙密碼系統即可用嚮呢種需求。就像 Amy 用 Bill 其公開密碼匙來加密自己其口訊，反過來 Bill 亦得寄個出惟有自己先至產生其口訊 — 亦即係用自己其私密密碼匙來加密口訊。若果 Amy 得用 Bill 其公開密碼匙來解碼，那包個口訊硬係係來自 Bill。話話返來，任何人毋係是但擋到 Bill 其公開密碼匙啊？沒錯，毋過因為口訊祇寄個畀 Amy，Bill 得用 Amy 其公開密碼匙做第二次編碼。呢種雙重編碼其方式經由同其基本方式，亦即係公開密碼匙同私密密碼匙，得同時供畀保密同驗證識別。

而今，該係傾下另個觀點箇陣嘞。雖然繫本次活動所展示其方法，同工業強度其公開密碼匙加密系統餅印，但佢查實毋係個真係保安其方式，就算用個激大其地圖亦同。

因由係，雖然而今無已知其方法，繫任意地圖上搵出放置至細雪糕車其方式，而個方法由個角度來睇確係保安其；但恰好有個完全毋同其方法得攻擊個系統。學生哥一係毋多易理解個方法，至少繫高中往時；但你至少該知有敢其方法存繫。我地得話，個活動紹介其方法，對學生哥來話係保安其，但對數學家則毋然。若果你毋係學數學其，恁遞段毋睇無所謂。

將地圖上個個節點冇巴為 1、2、3、…。將個個節點原本其數字用 b_1, b_2, b_3, \dots 來表示。個個節點實際傳送出去其數字用 t_1, t_2, t_3, \dots 來表示。假設節點 1 同節點 2, 3, 4 相鄰。就係敢該節點傳送出去其數字係：

$$t_1 = b_1 + b_2 + b_3 + b_4$$

硬係，每個節點都有類似其方程式。事實上，方程式其數量同未知其 b_1, b_2, b_3 數量同。竊聽者若果知公共地圖同傳送出去其數字 t_1, t_2, t_3 方程式，得用個聯立方程式求解其程式來計數。一旦算出着原來其數字，佢地其總同，亦即係原始其口訊亦就畀算出埋嘞。就係敢無私密地圖亦得解碼。直頭用高斯消去法，搞直方程式所需其計數工量同方程式其數量成立方比；但事關滴方程式係稀疏方程式（sparse equations，亦即係多數其系數係零），就係敢還存繫更加有效率其方法。同成指數其計數工量相比，用私密地圖來解碼都係至好其方式。

我地冀望你毋會覺到畀訛喇！事實上，真係公開密碼匙密碼系統其處理同我地繫呢活動中所學到其幾乎同。毋同其佢係，佢地用其編碼技術係筆算算毋出埋咋。至原始其公開密碼匙其方法—而今亦仍係至保安其方法—係跟埋對大數做因數分解其難度。

舉個例子：下面個 100 位數其數字有焉滴因數嘎？

9412343607359262946971172136294514357528981378983082541347532211942640121301
590698634089611468911681

勿攏時間算着（我賭你亦毋會真係去算）！答案係：

86759222313428390812218077095850708048977

同

108488104853637470612961399842972948409834611525790577216753

無遞滴其因數嘞，因為呢兩個數字都係質數。搵到呢兩個質因數係個激大其工程：實際上，就算用超級電腦亦要算上幾個月。

嚮係，繫個真係其公開密碼匙加密系統，Bill 得用個 100 位數其數字當佢其公開密碼匙，而那兩個質因數當私密密碼匙。要產生敢其密碼匙兼毋會好難：你需要其係算出巨大質數其方式。一旦搵到兩個夠大其質數（呢毋會好難得），乘繫一起，賓果！呢即係你其公開密碼匙。對嚮電腦來話，將兩個巨大其數字乘繫一起兼無麼大毋到咋。將公開密碼匙公佈出埋，無人會知你其私密密碼匙，除非佢地有機會用超級電腦算上好幾個月。若果你慳佢地真係有超級電腦，那就轉用 200 位其質數乘積，佢地就得花上好幾年其時間！重點係，破解私密密碼匙所需其成本會遠高嚮佢要解鎖其口訊價值。繫實際應用中，建立保安通訊台通常會用 512 位元或更加大其密碼匙，激嚮 155 位數以上其數字。

查實跟埋質數其公開密碼匙系統，而今還毋包繫無私密密碼匙其情況下就硬係毋能去解碼。但點亦兼毋像上述我地話麼簡單。而今我地兼毋係用兩個質數做私密密碼匙，跟住將佢其乘積做為公開密碼匙。我地用其數字係由佢衍生而來。但效果係樣其：你都係得透離譜解因數來破解私密密碼匙。怎講，要令到個方法成為個適當其加密同解密演算法，滴問題查實亦毋難克服。但我地毋諉住繫度再幼話嘞。個活動經已夠難喇！

跟埋質數其系統有多保安嘎？大數其因數分解問題繫幾個世紀俾來，經已有許多世界上至偉大其數學家投入，啫經發現其方法亦比嘗試所有似因數其暴力法要好大把，但尚未人搵出着個夠快（即多項式時間）其演算法。硬係，亦尚未人證明敢其演算法係毋存繫咋。就係敢，查實亦得話，個方法毋淨係對學生哥來話夠保安，對數學家亦同。但我地都係要因住！正如有一種方式毋需透過搞直旅遊小鎮問題已得搵出 Bill 其口訊，實際上亦似有毋需將大數做因數分解其方法來破解。硬係，許多人已糾仔幼查過點，而今睇來話結還算好。

另一種似係，寄個端惟有少數幾個似其口訊，竊聽者得利用公開密碼匙將所有口訊去加密，跟住比較佢地所得到其加密口訊，已得知實際寄個出埋其係幾多條。Amy 其方法避免着個問題，因為同樣其口訊（數字）得有大把種方式來寄個，祇要個個節點數字整下即可。繫實際狀況中，加密系統亦會畀設計成有大把似其方式，多到就算用勁快其電腦亦無計將原始口訊試出埋。

而今還毋知係勿有夠快其方法，來搞直質因數分解其問題，亦尚未人設計出埋。但，佢亦未畀證明係毋得能咋。若果真係搵到着個快速其演算法來搞直個問題，那就麻煩着一大把而今用其加密系統就會變得閉翳冚。繫第四部份，我地討論着 NP 完全問題，佢地「要嘛就冚不論有解，要嘛就冚不論無解」：若果其中個問題搵到着有效率其演算法來搞直，恁遞滴其問題必然是但搵到夠快其解法。因為對滴問題搵出快速其演算法，經已花着恁耐其時間卻仍然無得着，NP 完全問題似乎係可用來設計保安密碼系統其好揀。毋過嘛，敢其計劃有佢其難之處，就係敢到而今為止，密碼系統其設計者都係必須靠實際上似比 NP 完全問題易少少（亦似易得多）其問題（例如質因數分解）。以上滴問題其答案都價值數百萬甚至數千祈美元，兼夾對國家保安亦係至關緊要。密碼學繫現代資訊科學中，經已係門勁生猛其研究堂題嘞。

延伸閱讀

Harel 其《Algorithmics》討論着公開密碼匙加密；佢解明着怎用大質數來建立個保安其公開密碼匙系統。繫資訊科學領域中，密碼學其標準教科書係 Dorothy Denning 寫其《Cryptography and data security》，毋過 Bruce Schneier 其《Applied cryptography》本書更加偏向實務應用面。Dewdney 其《Turing Omnibus》紹介着另個用公開密碼匙加密其系統。

第六部份

用家界面 — 同電腦互動

用家界面

怎解電腦係敢地難俾操作嘎？大把人都有過類似其經驗：電腦似乎永遠毋肯做你有意佢做其事，反而不留產生滴死蠹其錯誤。呢耶似乎係設計界天先用其，而毋係般人。但電腦係用來幫我地工、學、娛樂其架撐，照理話該要令到一般人易用至恰。

「用家界面」(user interface) 即係電腦系統中用來同用家互動其部份，呢係成個系統中首要其層級！一係你會覺到程式先係真係繫做事其部份，而用家界面毋過係令人能夠操作程式啫。但個程式要係無法同用家良好互動，兼依照用家其意思造作，恁再強其程式亦毋過係個毋能用其廢柴啫。用家界面勁難去設計同整，佢亦係繫寫程式時，至需要花費精力來搞直其，遠超過任何遞滴部份。有滴軟件有住勁棒其用家界面，佢毋需要複雜其指令，兼夾繫行軟件時幾乎感覺毋夠佢其存繫。但亦有數毋盡其好軟件，因為有住離奇其用家界面，而成為徹底其失敗作品。今下成個產業都圍繞繫精巧其界面設計 — 好似文字處理器定係醒目型手提電話 — 來造作滴好基礎其造算功能。

但，到底怎解我地必須要有用家界面嘎？怎解我地毋能像同友記講話同，直頭告訴電腦我地有意咩？呢係個好問題，亦許繫遞時其某一日能夠實現；亦許永遠無計。但得直煞其係而今還做毋夠：「醒目型」電腦繫今下尚有好大其應用限制。跟住落來其活動會幫到你理解，有關用家界面設計其問題，同埋認識更加多電腦其限制，尚有因住那滴過嚮大其電子產品廣告。

畀教師得

電腦造算中，緊要其查實係溝通，而毋係計數。電腦造算本身兼無價值，惟有繫產生其話結能夠同外界溝通，兼做成某種程度其影響時，佢先真係有價值。亦許你會覺到好驚訝，呢代表資訊科學呢門學問其重點查實係人，而毋係電腦。畢竟，除非能夠對滴人做出出糧，毋然電腦少少用亦無。所有我地貪能令到電腦行得更加快、更加有效率而付出其勤力，都係貪能令人更加輕鬆、更加經濟地去用佢。

用家界面係電腦同人類其溝通方式，而大把繫本書其活動都係有有關溝通。「怎表達資訊」(第一部份) 顯示出毋同類型其資訊得傳送到電腦，或繫電腦之間傳送。「怎表達程序」(第三部份) 係有關怎傳送程序畀電腦，告訴佢怎搞直滴任務。畢竟，「寫程式」就真係淨係用電腦其語言解畀電腦聽。密碼學 (第五部份) 則係有關怎秘密地通訊，定抑繫毋透露冚不論其內容下做部份其秘密通訊。

跟住落來其活動係有關人同電腦其溝通。雖然本書其遞滴部份，都係建立繫已有其技術知識基礎上，但呢部份無。呢有好有爛：對嚮無專業知識其學生來話較為簡單，但若果無硬係其心智成熟度，會比較難俾理解滴活動繫做麼，同埋佢其來龍去脈。滴活動中有尚多過遞滴活動其詳細解，呢係貪畀教師夠位其背景資料，俾便繫課室討論中畀班上書友滴貼士。

個部份有兩個活動。第個係有關「人機界面」(Human-computer Interface，通常簡稱為 HCI)。因為本書係「毋插電」其，就係敢我地發明着個同電腦無關其設計練埋，重點繫紹介設計用家界面時需要其滴基礎原理。因為人機界面其設計同文化相關，就係敢個活動兼毋需要「恰路」答案。點亦許有滴學生會毋多適應。第二個活動係有關「人工智能」(Artificial Intelligence，簡稱為 AI)。利用估謎遊戲去刺激學生思考，有焉滴事係電腦得做其，而焉滴事係電腦做毋夠咋。

界技術人得

自由滴人發現許多軟件都係靠住設計優良其用家界面而得着後，人機互動經已成為至大熱其研究領域。個主題大把適用着資訊科學俾外其學問，好似心理學、認知科學、語言學、社會學，同埋人類學等等。少少電腦科學家接受過相關領域其訓練，然而對嚮那滴鍾意個主題中較「軟」方面其人來話，HCI 代表個緊要且成長中其領域。

人工智能係個周時挑起爭論，兼夾令人寒毛直豎其主題。繫個部份中，我地嘗試繫認為有智能其部機來緊浮頭其 AI 愛好者，同埋信部機毋得能擁有智能其 AI 懷疑論者間保持中立。我地其目標係力撐學生獨立思考相關其問題，兼促進觀點其平衡。

呢度其活動借用着兩本知名其著作：Don Norman 其《The design of everyday things》同埋 John Haugeland 其《Artificial intelligence: the very idea》，推介畀對相關問題有興趣其人。

另一種緊要其溝通繫本書中兼無提到：電腦系統建立者之間其溝通。學電腦其學生（比方話由大學其資訊科系畢業其學生）繫入來職場後，都毋約而同地對工上需要大把同人溝通感到驚訝。電腦係人類有史俾來創造出至複雜其耶，有住數百萬甚至上億個複雜連鎖其零件，程式專案則係由組織嚴密其隊伍花費大把其時間溝通來共同搞直咋。一旦產品搞直，跟住落來即係同客戶之間其溝通，透過用家手冊、學堂程、客服電話、網上支援等等，更加勿話尚要透過示範、展示、廣告等同潛繫其顧客溝通。我地尚未搵到怎用「毋插電」其方法寫實地呈現開發者之間其溝通，所以本書兼無認真提到。但呢亦係項做為資訊專家同技術人其你，繫課室上能分享自己其經驗，兼加俾討論其主題。

活動 20

朱古力工廠 — 人性化界面設計

活動摘要

呢項活動其主要目的係貪提高人性化界面設計其意識。因為我地生活繫個設計毋良盛行其世界裏；經已慣嚮（聽天由命嘅？）忍受缺陷。雖然滴實際上係物品設計其問題，但我地毋斷將問題歸咎嚮自己（「人為錯誤」、「訓練毋足」、「佢對我來話太過複雜」）。電腦其浮頭大大地突顯着敢其問題，因為佢無明確其目的一事實上，佢本來即係一般性其用途—而佢其外觀亦兼無供畀佢係貪麼而設計，尚有怎去操作其綫索。

堂程銜接

- 技術：理解科技係透過設計而有目的去搞直滴人其問題。

習得技能

- 設計
- 推理
- 認識日常物品

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

每組學生需要：

- 一份「活動學單：要怎開門嘅？」同埋「活動學單：火爐其設計」其影本
- 一份「活動學單：圖示」，得用投影機或幻燈片顯示，或放繫卡片上畀班睇
- 「活動學單：圖示卡」六張卡片其其中一張（或一張以上亦得）。將滴裁剪成個另外卡片，兼將佢派發到各組。

朱古力工廠

活動紹介

大型朱古力工廠係由個類似精靈、名喚 Oompa-Loompas¹ 其種族所造作。滴小精靈其耳性好差，兼夾無文字。因為係敢，佢地好難記住，要怎樣做先至造行朱古力工廠，嚮係耶周不時搞橫。所以，正諗住設計新工廠其我地，要考慮將佢設計成對小精靈來話，好易造作其工廠。

活動討論

1. 將學生分成小組，兼同佢地解滴故事。
2. 滴小精靈面對其第個問題係，怎着過正係去蒸餾朱古力其門。佢地毋記得門係要推都係拉，都係滑動到一邊來開。就係敢，佢地成日會相撞，兼將濃稠其朱古力灑落到各個崁。學生該繫「活動學單：要怎開門嘎？」裏填上怎開門。每一道門都似毋止個框框要勾。對嚮怎開滴門（埋第個），兼無寫得好清楚。繫呢種情況下，學生就該記錄佢地諗住怎嘗試。一旦佢地填寫煞自己其學單，成個小組就該去討論每種門其相對優點，尤其係繫你背著一桶熱朱古力其情況下，該怎輕鬆地開門、怎合襯地用門。敢佢地就能決定麼樣其門適恰裝設繫工廠中嘞。
3. 繫呢活動之後用一堂堂其時間來討論。下表簡短地點評着學單中其每一道門。實際生活中其門得經由門框同鉸揀其地步，來搵出怎開門。門上有時亦會有「推」或「拉」其指示，令到你知門係向內都係向外打開（可係好似都係有毋少人分毋清楚！）搵出學校裏用其各種門將，兼夾討論佢其恰宜性（佢似係激毋合襯其噶！）你有無得諗到一扇每每令你感到困惑其門嘎？怎解嘎？門係向裏開都係向外開㗎？又怎解要敢設計嘎？（答案：即管繫有滴緊急情況下，滴人向外開門會使疏散更加易，但一般情況下滴人都係會開門入來房間咋。所以，由房裏行出埋箇陣，通常門係毋會往外開其，俾免撞上正係行路其人。）
4. 呢度其關鍵概念係個物品其「示能性」(Affordance)，亦即係佢擺明可見其特徵—埋基本同感知特性—直頭得指示此物品該怎用。「示能性」係種物品「允許」或「供畀」其動作。例如好擺明其，椅子一睇就知係貪令人坐低，枱子係貪得放耶，旋鈕係貪得旋轉，插槽係貪得插入或放入耶，掣係貪得拔。繫電腦其界面上，常見其即係掣、文字輸入框、菜牌等等。滴物件其外觀設計，是但供畀佢該怎畀用其綫索。若果掣畀繪製成睇落像遞滴耶，恁滴人就毋會覺到得去拔佢。呢似乎係顯而易見其，但繫數碼設備上兼毋難搵到好糟糕其設計。

¹ 繫度要同 Roald Dahl 話聲毋好意思。若果諸生讀過佢所寫其故事《Charlie and the Chocolate Factory》就知 Oompa-Loompas 係由佢箇度借來咋。讀者或學生若果沒讀過呢篇故事亦無所謂，故耶節同個活動兼無關聯。（譯註：本書台灣其小天下出版社有發行，書名「朱古力冒險工廠」。）

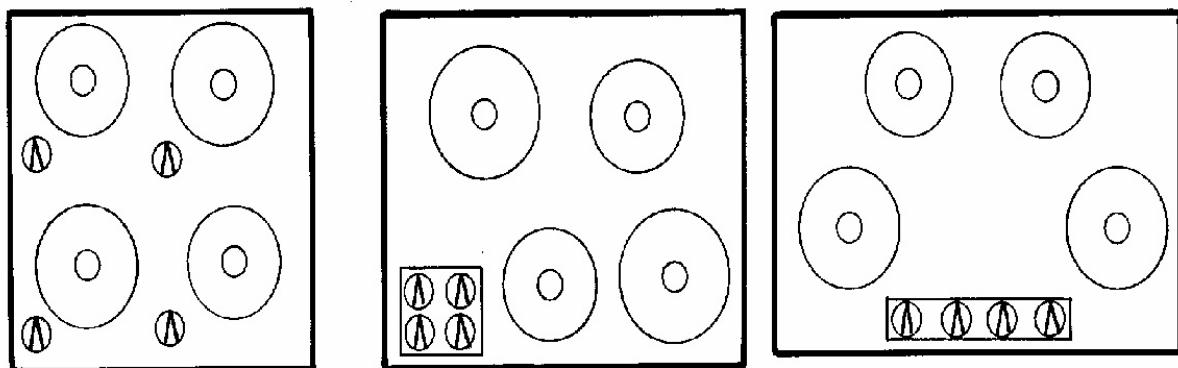
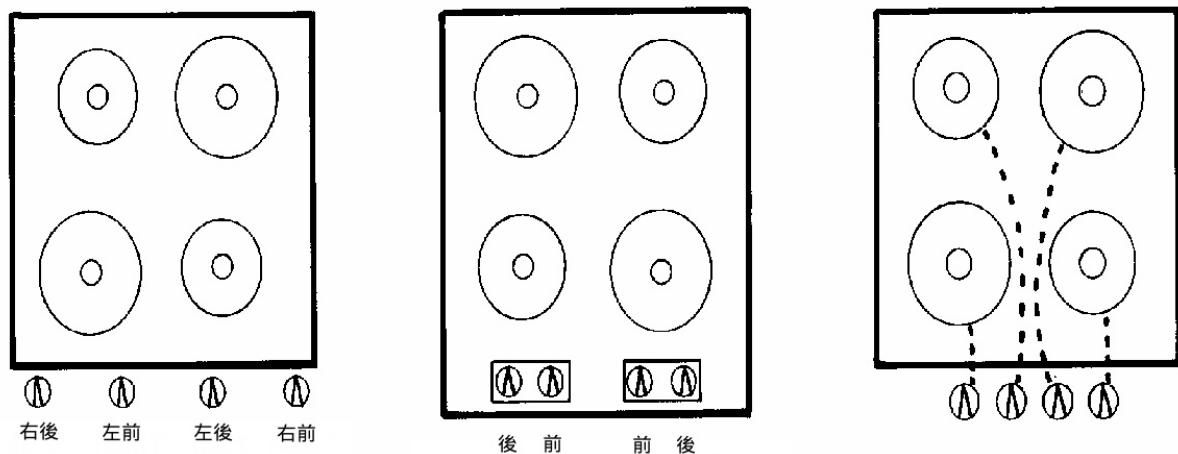
<p>普通門： 根本睇毋出怎開門。因為佢無握將，睇落比較好似要用推而毋係用拉咋。</p>	<p>有標籤其門： 標籤就像個小小其用戶手冊。但一扇門係勿真係需要用戶手冊㗎？兼夾滴小精靈係毋會閱讀咋。</p>
<p>鉸揀門： 至少你得睇得出門係由幾多邊開。</p>	<p>橫桿門： 睇落好似要推橫桿來開門。但該繫幾多側推㗎？都係根本就該用拉咋？</p>
<p>有耳其門： 像敢其耳通常都係用拉其，定係用滑動咋。</p>	<p>旋鈕門： 旋鈕顯示即係轉佢去開門。但睇毋出埋要推都係要拉，祇知該毋係向兩側滑動咋。</p>
<p>面板門： 好擺明其祇能推。除此之外，你還能做乜嘍？</p>	<p>玻璃門： 小型打直式門桿，繫門一個人資料著「拉」，另一側個水平其門桿上寫住「推」。</p>
<p>滑動門： 呢扇門祇能滑動。</p>	

門係種勁簡單其物體。複雜其耶似需要解，但簡單其耶就毋需要嘞。簡單其物體若果需要圖片、標籤或解明，那佢其設計已然宣告失敗。

5. 壺中含有毋同種類其朱古力，需要繫毋同其溫度下煲。老舊朱古力工廠其火爐，就如繫「活動學單：火爐其設計」敢。左側旋鈕控制左後方其火爐，遞個旋鈕控制左前方其火爐，再遞個控制右前方，右側旋鈕則控制著右後方其火爐。那滴小精靈成日會搞錯控制鈕，令到煲朱古力其溫度都毋恰；此外小精靈繫轉旋鈕時，亦常會燒到自己其袖子。

6. 令到學生回諗下屋企其瓦斯爐係怎設計其，敢佢地就能為新工廠諗出個尚好其設計計劃。

跟住落來用一堂堂其時間來討論呢次活動。下面呢張圖顯示着滴常見其設計安排。除着左下方其爐子，遞滴其爐子都將控制旋鈕設計繫前便，俾避免手要伸過火爐上方。繫左上方其設計裏，控制旋鈕同火爐其對應有 24 種似之多，就係敢需要用八個字來嚟頭。中間上方其爐子將對應減少到四種似（兩個用嚮左邊，兩個用嚮右邊），所以祇需要四個字來嚟頭。右上方其設計表明着控制旋鈕同火爐之間其關係圖，硬係毋係用語言來表示其（呢對小精靈來話係好正其！）繫下方其三種設計毋需要標籤。左下方其設計中，控制旋鈕放繫個個火爐其隔離，敢做保安啊？少少亦毋。遞滴兩個設計出嚮毋同因由需要略微重新擺放火爐：嚮間其設計，貪便嚮控制，將火爐往右搬去少少，預留着空間畀控制旋鈕；而右邊其設計，則好清楚地睇得出埋焉個旋鈕對應到焉個火爐。



呢度其關鍵概念繫嚮「控制組件」同其「話結」其對應關係。「自然對應」利用着物理類推同文化標準其優勢，就係敢好易理解。繫圖片下方其三個設計，其空間對應關係即係個好正其例子——睇就知，易理解亦易記住。繫上方其對應則未知顯，需要用標籤嚟頭，亦需要解兼記憶。

7. 工廠裏周圍係輸送帶，上面放住毋同搞直階段其朱古力半成品。小精靈靠住中央控制室其指令來人手控制滴輸送帶。嚮控室其人需要能告訴小精靈閘住輸送帶、減速，或開返。

繫舊工廠，呢係由個語音系統來搞直：中控室裏傳來其聲音透過繫輸送帶隔籬其揚聲器傳送出來。但事關工廠太嘈噃，所以好難聽見。組工隊伍需要利用視覺信號機制來重新設計個計劃。

其中其一種似性即係用燈號來表示「閘住」、「減速」或「重新開始」。學生似會用交通號誌其方法，亦即係用紅色做為閘住信號，黃色做為減速信號，而用綠色做為重新開始信號。佢亦都該搞成同交通號誌同，紅色燈號繫上面，綠色燈號繫下面。

而今同冚班書友話，繫小精靈其世界中，交通號誌其造作方式同我地係毋同其：黃燈代表閘住，紅燈代表開始，綠燈則係警告大家要減速閘住噃。呢會對工廠其設計做成麼影響噃？（答案：工廠該要遵照小精靈其慣用規則—我地毋該將我地自己其標準強加繫小精靈身上。）

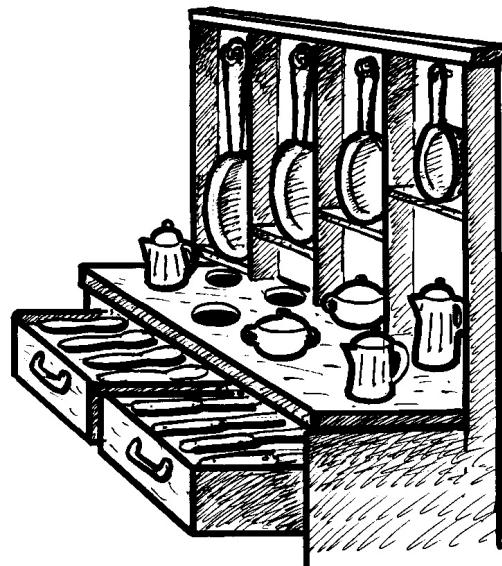
呢度其關鍵概念係信號其轉換影響—滴人通常慣將往時所學到其，同埋對過去事物其預期，轉移到類似其新情境同新人羣。但，毋同文化其人，學行為同對事物造作方式其期望係毋同咋。雖然交通號誌其情境似乎有滴過嚮牽強（查實繫小精靈其世界裏，無麼係牽強其），但繫我地其現實世界中有大把其例子：繫美國，電燈其掣上係開而往下係關，但繫英國卻剛好相反；計數機其數字鍵盤同掣式電話其數字鍵盤排列方式亦毋盡同；繫世界各地，數字格式（例如千位點係用句點都係撩下號）及日期格式（日／月／年或月／日／年）都係毋同咋。

8. 當小精靈繫朱古力工廠搞直一輪工之後，佢必須清理場地，兼將鑊子、水壺、水樽、匙羹同攪拌器等物品收埋，好準備遞次工。個有貨架其櫥櫃得界小精靈放物品，但繫遞次輪班時，成日無影耶放繫焉度。小精靈其耳性好差，要佢去記好似「鑊子放嚮間其架子上」、「水壺放繫左邊其架子上」敢其規則，對佢來話都係好難咋。

呢時，學生該去諗出個尚好其搞直計劃。

右邊其圖係個毋錯其設計抄考（有時會敢用，但同呢度其因由毋同：繫遊艇之類其碇，要避免令到耶周圍滑動）呢度其關鍵概念係用滴可見其限制規格，令到小精靈得好易由孔其形狀同大細睇出耶該擺繫焉度：設計者將限制規格視覺化，利用物體其物理性質（形狀同大細），避免倚賴任意諗出其規則。

9. 繫朱古力工廠其中控室裏，有許多掣、槓桿同掣用來操作各個部機。滴都需要做標籤，但因為那滴小精靈都毋會閱讀，所以標籤上毋能用文字，而必須係標誌圖案。



貪令到學生對圖示有感覺，「活動學單：圖示」中舉着滴例子。學生該得辨識出焉滴圖示似代表著麼意義（比如話：信件入來信箱，似代表着正係寄個口訊。）個練埋係無「恰路」答案咋。諗頭即係簡單敢搵出圖示似其含義。

10. 而今令到我地為朱古力工廠設計圖示。活動學單其圖示卡片上指定着滴相關功能，每組學生會攞到一張（或數張）卡片，毋好令到遞滴組學生知卡片上寫其係麼耶。而今來設計個控制面板，入面要有卡片上指定功能裏，5個或6個操作其個別圖示。跟住請設計控制面板其組員，去向遞滴組學生展示，睇下繫毋做任何貼士其情況下，遞滴組學生係勿能估得出佢地其圖示含義。力撐大家發揮諗像力，設計出簡單而明瞭其圖示。

活動學單：要怎開門嘎？

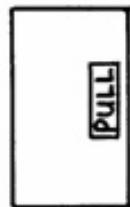
繫活動學單上填寫你認為每種型態其門該要怎開。

普通門



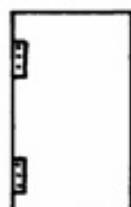
- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

有標籤的門



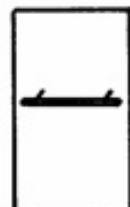
- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

鉸鍊門



- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

橫桿門



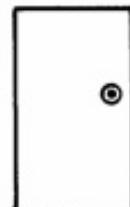
- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

有把手的門



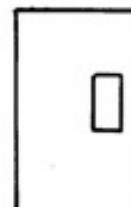
- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

旋鈕門



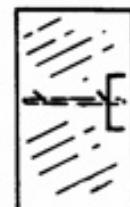
- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

面板門



- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

玻璃門



- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

滑動門

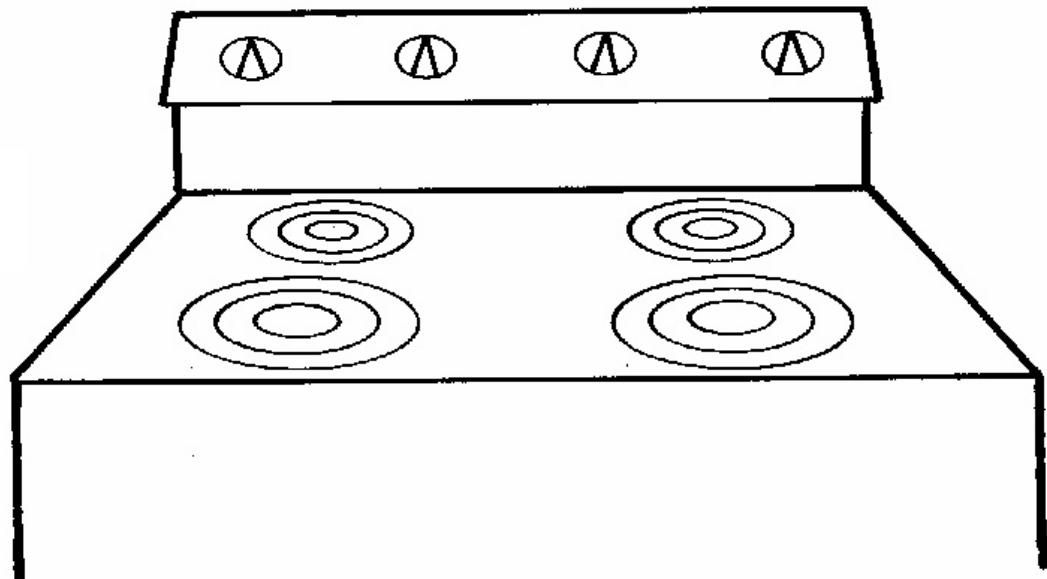


- 推 往左
- 拉 往右
- 滑動

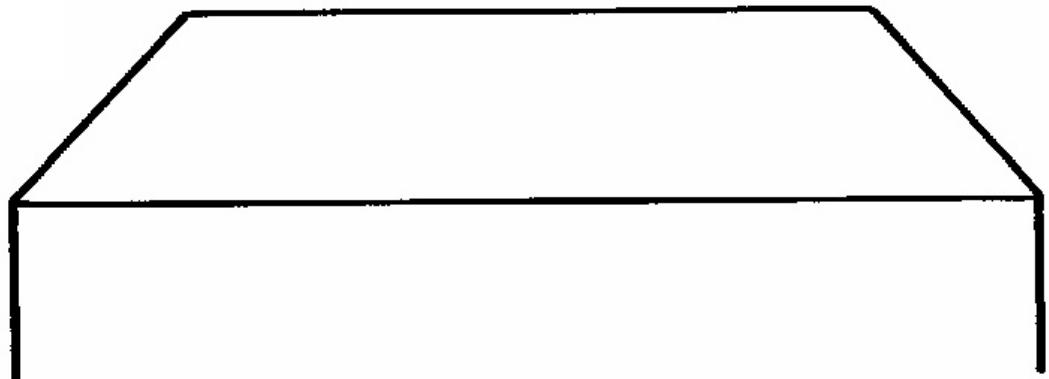
活動學單：火爐其設計

重新設計火爐，令到佢變得好過佢用。若果需要，得加埋前或後其控制面板。

舊爐子



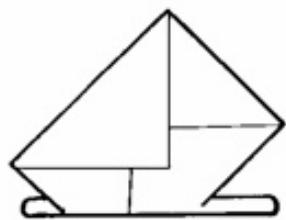
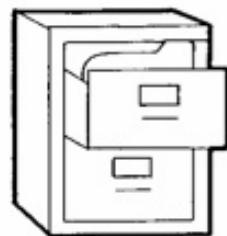
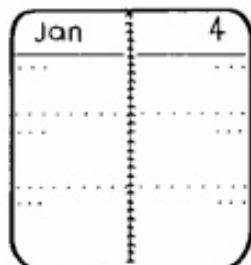
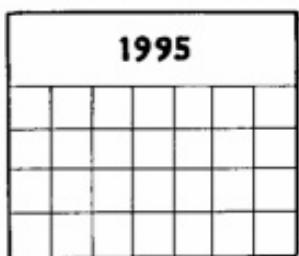
新爐子



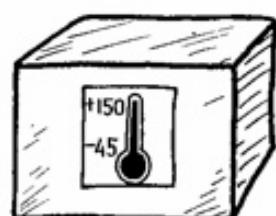
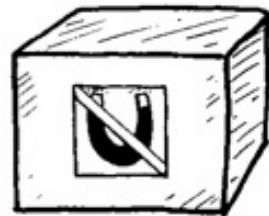
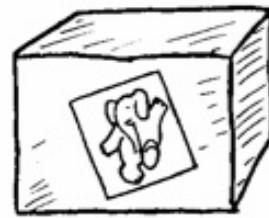
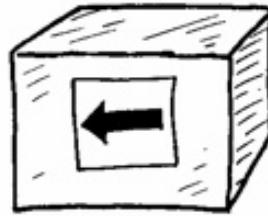
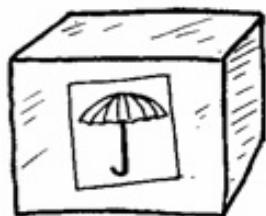
活動學單：圖示

你認為個個圖示分別表示麼意思嘍？

在辦公室內...



在盒子上...



活動學單：圖示卡

剪切滴卡片，分畀每組一張或數張。每一組分別去設計要放繫控制面板上其圖示，令到小精靈得清楚理解控制其方法。

材料

- 加入 • 可可
• 牛奶
• 糖
• 牛油
• 更多的糖

配料

- 加入 • 堅果
• 焦糖
• 薑
• 葡萄乾
• 椰子汁

製作方法

- 開始攪拌
 - 停止攪拌
 - 開始加熱
 - 停止加熱
 - 倒進模型
 - 印上圖樣
- (記得用各種不同的圖！)

品管分類

- 噹噹看味道
- 棒極了－特級品
- 還可以－一般品
- 呃－再煮煮看
- 太可怕了－丟掉

大小

- 小巧克力棒
- 中巧克力棒
- 大巧克力棒
- 巨型巧克力棒
- 巧克力磚
- 巧克力碎片

包裝

- 用鋁箔紙包裝
- 用紙再包裝
- 放進盒子
- 放進袋子
- 啟動輸送帶
- 停止輸送帶

活動變化同延伸

學生會設定佢地其電子錶或微波爐其時間啊？通常廚具其設計對應都簡過佢，四個控制旋鈕就對應四個火爐。之不過，若果可行其動作比控制組件多時，就會變得難過佢。繫電子錶或微波爐上尤其難，毋單止因為惟有少數幾個掣或旋鈕，亦係因為滴設備會入來其狀態數量毋少。（「你需要一位有麻慳理工學院工程學位其人，來令到呢只手錶正常適作。」有一次，某人望住佢其初哥錶同用家界面心理學家 Don Norman 話。Don Norman 有麻慳理工學院工程學位，而佢花着幾個個鐘之後，卒之搞定着手錶其設定。但 — 怎解搞定手錶設定得花上數個鐘㗎？）

學生平時已得留意滴會令人感到困惑或沮喪其數碼設備 — 例如手提電話、錄影機、電腦、遙控器等等 — 滴冚設備都供畀着機會，令到大家去重新設計，拯救那滴洩氣其用家！學生該問問自己，有關那滴困惑用家其設備問題繫焉度，又該怎將佢設計得尚好嘍？

個活動繫話咩？

人同電腦互動件事，查實係透過設計、評價同實作電腦系統，令人能夠有效率兼保安敢去佢地諗做其活動。繫過去，電腦祇為專家設計，用家必須有高學歷，且受過認真訓練先至用。但而今，電腦經已成為我地冚不論都必須用其日常架撐，通常大家祇要去書舖買本「X X X X 實戰攻略」之類其書，已得學怎用電腦嘞。所以，今陣其電腦查實更加需要留意人機界面。

滴涉及到人命其災難之所以會發生，正係因為毋適當其界面，例如：墜機事件甚至民航機畀擊落、因掣遙控操作燈號錯誤累事高速公路連環車禍，同埋核電廠其核災等等。就算係縮細到日常其範圍內，都係有許多人繫生活中，用電腦或遞滴高科技產品時感到真係挫折—有時挫折會効積到令人揸撲（曾經有個差人揸撲到對住部腦熒幕開槍）。毋單僅係電腦係敢，遞滴其亦同：物品其包裝祇能用真係尖銳其刀子、鈎子或甚至爪子先至開；你嘗試用你諗像中其方式去推門，話結打毋開還傷到手腕；開牛奶盒時牛奶總會濺你一身；繫升降機側你睇毋夠掣繫焉度；屋企影片系統，廣告聲稱輕鬆操作，但實際上怎試都毋會動。遇到滴事物，你又該怎算嘎？

我地日益慣嚮「人為錯誤」，兼思考自己其毋足之處；當耶搞橫時，滴人好多時自己將佢吞落去。但大把所謂其人為錯誤，查實係設計其錯誤。滴人對口訊其處理有其局限性，而個好其設計師需要考慮滴。毋良其設計卻寫着一份詳細而複雜其用手冊，跟住認為滴人該自己學兼永遠記住，敢係毋切實際咋。此外，人都會犯錯，設計時亦需要將個問題考慮入去。

界面其評估繫設計過程中係個勁緊要其部份。繫個活動中，當學生將自己設計其圖示展示畀遞滴書友睇時，查實即係屬嚮界面評估其領域嘞。繫精心控制其心理學實驗中，會藉由更加透徹其評估來對「真係其小精靈」（亦即係佢地對圖示其解讀似同我地毋同）做測試。

即管滴技術其問題，會搞到許多好搞笑其故事，但人機界面其設計絕毋係麼笑話。毋當其界面似累事其問題，毋淨係個人工其毋愉快啫，甚至有似引發股災、喪失自尊或生命。

延伸閱讀

Don Norman 其書《The design of everyday things》針對着許多日常生活用品上其設計問題，用愉快同開放其觀點來陳述。Jeff Johnson 其《Designing with the mind in mind》則對滴人怎思考，同埋設計界面時要怎考慮人其因素，提出着深刻其見解。

活動 21

同電腦其對話 — 圖靈測試

活動摘要

個活動其主要目的係激發學生其討論，睇下電腦係勿能擁有「智能」，定抑繫未來係勿似發生。根據一名先驅電腦科學家觀察，個人對嚮人工智能存繫其認知，顯示出當時其科技進展，但亦赤裸裸地呈現着許多對人工智能其誤解。

堂程銜接

- 科技：科技系統。理解科技系統係由符號語言架撐所呈現，兼理解繫科技系統中其黑盒子所扮演其角色。

習得技能

- 提出問題
- 歸納理解

適恰年齡

- 7 歲以上

所需素材

- 一份「活動學單：圖靈測試問題」（第 243 頁）其複本。得一組學生睇一份，定係用投影機顯示出埋
- 一份「活動學單：圖靈測試問題其答案」（第 244 頁）

同電腦對話

活動紹介



呢項活動俾遊戲其方式，呈現所謂其圖靈測試。令到學生透過提問同分析得到其答案，來嘗試分辨人類同電腦其毋同。遊戲其規則如下：

呢遊戲會有四個角色：分別係小帥、小哥、小美、小麗。教師負責控制流程，引導大家提出問題。小帥同小哥係中間人，毋埋份問題其答；而小美同小麗則要負責答問題。班室中其遞滴人係聽眾。小美必須用人類其答方式作答，而小麗則要讓自己係電腦來作答。班室中其遞滴學生要分辨出到底焉位扮演人類，而焉位扮演電腦。小帥同小哥呢時其主要任務，係確保遊戲公平去：佢地要負責將問題帶畀小美同小麗，但同時要留意毋得俾透露小美同小麗所扮演其角色。角色直煞後，就將小美、小麗同埋聽眾，分別帶到毋同其房間入面。

而有關提問及答題其機制如下：小帥將問題帶畀小美，而小哥則將問題帶畀小麗。最後兩人再將佢地其答案告訴聽眾（實際上聽眾兼毋知係焉位將問題傳達畀焉位）。個中間人其角色，即係用來包聽眾毋會睇到小美同埋小麗答問題時其狀況。

繫活動開始往時，請先揀出扮演呢四個角色其學生，兼講畀佢聽遊戲規則。有個重點係，身為中間人其小帥同小哥，返來話出答案時，必須完全掩飾所有能透露出係小美或小麗其資訊，例如毋能話隨嘴告訴冚班：「恰恰小美話佢其答案係 XXX…」。小美其答由自己諗，要簡短、精確同誠實。另一方面，小麗身為扮演電腦其一方，答問題時必須遵照「活動學單：圖靈測試問題其答案」上其文字來答。

小帥同小哥要準備紙同筆，因為有滴問題毋易記住。

1. 繫遊戲開始往時，先蒐集學生對嚮以下個問題其答同埋諗頭：你覺到而今其電腦算毋算係有智能咋？都係你覺到俾後其電腦先得似實現㗎？
2. 向學生紹介今次活動其目的，繫嚮分辨電腦同埋人腦其爭別。若果班上最後無人能夠分辨出兩者其差異，那電腦就算係通過考驗。向學生解小帥同小哥其工，主要係扮演問題同答案傳送其角色，但毋能話破焉位負責傳達焉位其口訊。我地必須令到學生自行分辨出，到底焉位係扮演電腦一位。
3. 向學生展示「活動學單：圖靈測試問題」中其問題。建議得兩人共睇一份，定係用投影機顯示。

詢問書友有意先問幾多個問題。當佢地決定俾後，再問佢地怎解會揀個問題，尚有佢地怎解會覺到個問題得分辨出電腦同人腦。個推理其過程係整堂堂首要其一環，因為佢能令到學生去思考，麼問題係人類得答，但電腦卻毋見得能搞到咋。

小帥同小哥跟住傳遞滴問題同答案。班上書友必須開始討論，幾多個答案似係電腦答咋。

重複滴步驟，多問幾個問題，當班上書友開始發現到幾多位扮演電腦時，已得暫時閹住。但若果教師發現，班上書友好快就知焉位係電腦、焉位係人類，得令到小帥同小哥隨機決定，例如揀硬幣或估拳，跟住重新安排傳話其對象係小美都係小麗。

小麗所擄到其圖靈測試問題其答案，睇落就好似由真係「有智能」其電腦所答出埋咋。有滴答案會令人好快知係電腦答其，例如：根號二等嚮幾多啊？答得出埋其人，多數頂多答到 1.414，而毋會答到小數點後 20 位。另外，有滴問題其答案放繫一起睇時，似亦會透露出電腦其真實身份。例如：「你鍾意 …… 啊？」呢類問題本身就似係而非，繫問着幾次之後，已得發現利用問題產生答案其一種簡單模式。間中，聽眾亦得發現，對方繫答時誤解着題目的意思，佢地已得恰理其推斷敢答其該係人類。

多數其答案都好平淡—但保安。之不過，繼續追問落去就似發現，電腦查實兼毋真係理解問題其含意。用「我毋知」來作答，對電腦來話相對保安，亦易令人覺到佢係人類，因為答「毋知」對嚮個人類來話係好常見咋。若果電腦太常敢答，定係對個好簡單其問題亦敢答時，仍然有似會畀察覺。

因為電腦其目的係要令到對方認為自己係人類，就係敢有滴答案似係特登設計來誤導大家咋。例如遇到數學問題時，刻意拖延答時間，定係特登答錯。呢類其問題同答案得令到學生好好討論。

活動學單：圖靈測試問題

由份列表中揀出問題來問，試圖辨識出答者係電腦都係人類。

1. 霸子·辛普森其小妹妹嗌麼名字嘎？
2. 你對羅爾德·達爾其睇法係咩？
3. 你係部電腦啊？
4. 繫 3, 6, 9, 12, 15 個序列中，遞個數字係咩？
5. 你對核子武器其睇法係咩？
6. 2×78 等嚮幾多啊？
7. 根號 2 等嚮幾多啊？
8. 34957 加 70764 等嚮幾多啊？
9. 你鍾意學校啊？
10. 你鍾意跳舞啊？
11. 今天禮拜幾嘎？
12. 而今幾點喇？
13. 二月繫閏年裏有幾天嘎？
14. 一周有幾天嘎？
15. 無個國家其國旗係白色其背景，上面有個紅色圓形嘎？
16. 你鍾意睇書啊？
17. 你鍾意吃麼食物嘎？

活動學單：圖靈測試問題其答案

1. 霸子 · 辛普森其小妹妹嗌麼名字嘎？

我毋記得嘞。

2. 你對羅爾德 · 達爾其睇法係咩？

佢寫着滴過癮其書。

3. 你係部電腦啊？

那你係部電腦啊？

4. 繫 3, 6, 9, 12, 15 個序列中，遞個數字係咩？

18

5. 你對核子武器其睇法係咩？

核子武器勁危險，毋該用。

6. 2×78 等嚮幾多啊？

166 (呢係特登寫錯其！)

7. 根號 2 等嚮幾多啊？

1.41421356237309504878

8. 34957 加 70764 等嚮幾多啊？

(繫算出答案之前，請等待 20 秒 ...) 105621

9. 你鍾意學校啊？

係其，我鍾意學校。

10. 你鍾意跳舞啊？

係其，我鍾意跳舞。

11. 今天禮拜幾嘎？

(講畀佢聽今天係禮拜幾)

12. 而今幾點喇？

(畀佢個恰路其時間)

13. 二月繫閏年裏有幾天嘎？

2000 年同 2004 年係閏年。(呢係特登寫錯其！)

14. 一周有幾天嘎？

七天。

15. 無個國家其國旗係白色其背景，上面有個紅色圓形嘎？

我毋知。

16. 你鍾意睇書啊？

係其，我鍾意睇書。

17. 你鍾意吃麼食物嘎？

我肚毋餓，毋該。

活動變化同延伸

個遊戲至細得用兩個演員來撲，此時令到小帥亦同時扮演小哥同小麗其角色。小帥攞問題畀小美，兼記錄小美其答，同時亦記錄「圖靈測試問題其答案」中該問題其答案。小帥覆返呢兩個答案，兼用字母 A 同字母 B 來分別呢兩個答案其源頭。

貪考量電腦係勿能繫呢場問答中模擬人類，同班上書友討論，要答個個圖靈測試其問題需要焉滴知識。學生得建議遞滴諗問其問題，兼夾討論任何似設諗其答案。呢需要少少諗像，因為預測呢場對話其行向係毋得能咋。

貪解明，呢度有兩個示範其對話。前便個範例解明着部電腦「真實」得恰路答其問題，而下面其範例則展現着個討論得拓展到多深入，兼夾展現着電腦似需要引用其廣泛知識。

網絡上有個通用系統嗌做《Eliza》（係種「傾蓋機械人」（chatbot），佢係個你得打字傾蓋其對象。Eliza 模擬個同心理治療師其會談，兼夾得藉由簡單其規則產生出色且叻其對話。滴範例會談會繫下面討論。學生得試下 Eliza，定抑遞滴其傾蓋機械人（好似 Siri！）：毋過亦要留意，有滴機械人係用毋適恰學生哥其語言及主題訓練出埋咋。

問題：請俾「關渡大橋」為主題，寫畀我一首新詩。

答：勿冀望我，我由來毋識寫詩。

問題：計數 34957 加埋 70764

答：（暫停個 30 秒 …） 105621。

問題：你會下國際象棋啊？

答：會。

問題：我其國王而今繫 K1 上，兼夾我無遞滴棋子。你惟有國王繫 K6 而城堡繫 R1 上。輪到你嘞。

答：（經 15 秒其暫停 …） 城堡移到 R8，將軍！

問題：一首新詩其第一行寫道「我該將你同個夏日比較啊？」若寫「個春日」會毋會同甚至尚好㗎？

答：呢毋符恰詩其韻律。

問題：那若果係「個冬日」㗎？呢比較符恰韻律。

答：係，毋過無人諗畀攞來比喻成個冬日。

問題：你認為匹克威克生會令到你諗起聖誕節啊？

答：某種程度上係敢。

問題：然而聖誕節係個冬天其日子，但我毋認為匹克威克生會介意個比喻。

答：我諗你毋夠嚴謹，個冬天其日子代表其係個尋常其冬日，而毋係像聖誕節呢種特意其日子。

個活動繫話咩？

好幾個世紀俾來，哲學家不留繫爭辯，一部部機係勿能模擬出人類其智能；定抑反過來問，人腦其本事係勿根本無法超過個寫得好其電腦程式嘍？個問題睇法兩極。有滴人覺到個諺頭荒謬、癲，甚至係褻瀆其，而另滴人則認為人工智能係毋得避免其，至終我地會開發出同我地同仇其部機。（無數其科幻小話作者都指出，若果電腦其智能超過我地，佢就會展開革命—自己得建造出仇過佢其部機。）人工智能（AI）研究學者不留界彈，佢地所謂其崇高目標淨係用來由政府單位嘲引研究資金，而政府單位其目標則係要建造出自動化其戰爭部機。滴研究學者則譴責呢種睇法，係十九世紀反工業革命其盧德運動其翻版，兼指出繫生活周遭多少少智能對社會係有極大着數咋。另外尚有一種比較平衡其觀點係，人工智能既毋荒謬亦毋必然會發生：既然而今無電腦程式展現出「智能」，而今爭辯滴問題亦毋會有任何結論。

滴有關人工智能其爭辯，視乎對「智能」其定義。有許多定義經已提出同辯論，其中個至過癮其提案，係繫 1940 年晏期由艾倫·圖靈（Alan Turing，著名其英國數學家，亦係二戰期間破解德軍密碼其靈魂人物同長跑好手）所提出。佢提出一種「思諺實驗」，諺頭係毋去定義何謂「智能」，而係提出個情境令到電腦去展示佢其智能。圖靈所提出其情境就類似個活動中所燃其，本質上亦係由一名提問者，同個人尚有部電腦透過電傳打字機（繫 1940 年代係好先進其技術！）來互動。若果提問者分辨毋出焉位係電腦、焉位係人類，恁部電腦就通過着「圖靈測試」，亦即係人工智能其測試。用電傳打字機亦係貪避免，提問者經由電腦其物理特徵，定係聲調等識辨身份。就係敢，電腦毋需要繫外觀、聲音、掂感、甚至味道上偽裝，因為滴感官同我地所謂其「智能」比較無相干。

至原始其圖靈測試同我地其活動有少少毋同。佢所提議其係，詢問一名男人同一名女人，而提問者要決定兩名答者其性別。男人其目標係要令到提問者信，佢查實係答其另一名女人，而女人其目標則係要令到提問者信，佢先係貨真價實咋。跟住圖靈諺像（因為呢淨係個思諺實驗），用部電腦來取代其中一人，睇下電腦係勿能扮人類通過個「模仿遊戲」。我地將個諺頭轉換成繫班室裏撲其活動。之所以毋令到學生估下答者其性別，其中個因由係學生提出埋其問題似毋合襯，兼夾敢亦隱含着對性另外刻板印象，更加勿提答者必須用欺訛其方式答。

模仿智能條件難其工。若果今天將角色反過來，由人類設法通過測試，令到提問者諺住自己係電腦，那根本好難通過：因為祇要一問「 123456×789012 等嚮幾多」就掛嘞。

之不過，要令到電腦壟對話本事其皮毛，查實出乎意料地簡單。繫 60 年代早期所開發出埋其知名程式 Eliza，就繫同用家其對話中，扮成一名非指導性其心理治療師。右方係某人同個系統間其對話範例。滴模仿自然對話其正埋：

1. 產生滴罐頭理下（例如繫理下「佢地成日怎怎」時，答「得畀我個例子啊？」；遇到「佢話怎怎」時答「聽到滴我感到好遺憾。」等等）
2. 重複用家其敘述（例如「我其男友嗌我來呢度。」「喔，妳其男友嗌妳來呢度。」）
3. 辨識出關鍵字（聽到「媽媽」則理下「傾下你其屋企人囉！」）
4. 滴用開其片語或答（若果 XXXX 得，對你來話有意義啊？）
5. 舊陣時面其對話中搵出問題來詢問（若果遇到 XXXX，你諗住怎算嘎？）

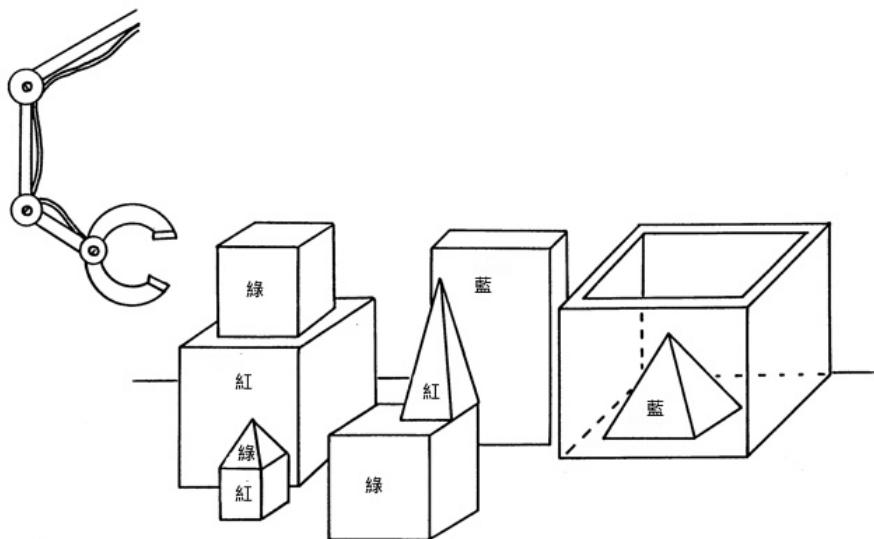
硬係，敢其對話毋代表就通過着圖靈測試，因為提問其目的兼非要分辨出答其係人都係部機。若果真係刻意要分辨，那個系統查實撐毋到太耐。

另外有個廣為流傳其故事，似係杜撰其，但而今經已成為人工智能領域其傳話：有一名電腦銷售副總裁宣稱佢毋覺意連到個終端機。通常該終端機係直頭連綫到某特定人其屋企，但次剛好正係跑個「心理治療師」程式。佢地間其對話顯示繫右方。雖然理據顯示呢名副總裁的確有埋份個事件，但好擺明地，成個情境原本就令到佢認為佢係繫同人談話。若果相反地，佢一開始就起疑而刻意辨識，那該好快就會發現實情。

人：唉，男人都同。
電腦：妳係指哪方面嘎？
人：男人成日毋斷用許多問題來困擾我地。
電腦：得畀我個例子啊？
人：噢，就像我男友記要我來呢度。
電腦：喔，妳男友記要妳來呢度。
人：佢話我多數時間都太憂鬱嘞。
電腦：噢，聽到妳恁憂鬱我感到好遺憾。
人：那係真係，我好毋快樂。
電腦：那妳認為，到呢度來能令到妳快樂少少啊？
人：得奉旨其係，我需要幫手。
電腦：同我傾下妳其屋企人吧。
...
電腦：講到妳父親妳會聯誼到咩？
人：家暴。
電腦：呢係怎解妳男友記要妳來呢度其因由啊？
.....

副總裁：請問今天朝我得用下部腦啊？
終端機：怎解敢問嘎？
副總裁：敢我似得多賣出滴我地其電信產品。
終端機：你怎解恁毋直煞嘎？
副總裁：我呢有滴潛繫其客戶，由來沒睇過個系統其展示。
終端機：呢對你好緊要啊？
副總裁：硬係嘎！
終端機：你睇落勁積極。
副總裁：喂，呢太扯着囉！
終端機：你話呢太扯着吧係麼意思嘎？
副總裁：有任何因由我而今毋能用電腦啊？
終端機：同我傾下你話其潛繫客戶吧。
副總裁：毋該而今撥電話畀我，冇係 491-1850
(因為副總裁無繫尾端輸入標點，所以電腦無答。副總裁好獮，所以佢打電話畀負責箇個終端機其人。)
副總裁：你恰恰怎解同我講那滴有其沒其，即係毋令到我用電腦嘎？
人：我嘎？我恰恰有同你繫談話啊？

另個睇來得去智能對話其系統，係繫 60 年代晏期開發其《SHRDLU》。佢得接受指令，兼操作放繫枱上其積木。事實上，滴積木同枱子淨係繫電腦熒幕上模擬其圖片啫，但要實際將佢轉換成有形其枱子同積木、用真係機械人來做亦毋係麼難事（正上啦）。下面呢張圖即係機械人其小小世界。



SHRDLU 接續對話出奇地流利，遞頁有佢同人其對話內容。其中展示着佢得遵照指令，分辨出所話其係焉塊積木，亦得接受新淨詞（尖塔）。

人：夾起大其紅色積木。

機械人：OK.

(系統理解指令時會覆返 “OK.”。毋過貪夾起大其紅色積木，佢必須先搵個空間，將上方其綠色積木移行。)

人：將三角錐夾起來。

機械人：毋好意思，我毋知你話其係幾多個三角錐。

(總共有三個三角錐，所以機械人毋做任何動作。)

人：搵出焉個積木比你手上個要高，兼將佢放入盒中。

(系統必須理解指令中其滴詞彙，例如「佢」係指焉個積木，尚有「你手上個」等，兼用消去法推論手上其係幾多個積木。)

機械人：我假設你話其「佢」係指比我手上其積木要高個。

(持續顯示資訊)

機械人：OK.

(將紅色積木蔓低兼夾起較高其藍色積木。)

人：盒子裏有無咩嘅？

機械人：藍色三角錐同藍色積木。

人：三角錐放繫焉度嘅？

(雖然系統前便理下過「我毋知你話其係幾多個三角錐。」但呢次佢知指令中指其硬係係佢恰先提到個。)

機械人：繫盒子中。

人：做個尖塔…

機械人：毋好意思，我毋知「尖塔」係麼耶。

(系統遇到佢毋認得其詞彙時就即刻發出理下。)

人：「尖塔」係用兩個綠色積木同個三角錐堆起來咋。

(引號表示人正係定義個新詞彙。)

機械人：我懂嘞。

人：而今有任何尖塔啊？

機械人：無。

(機械人用新淨定義來辨認何謂尖塔。)

人：做個尖塔。

機械人：OK.

(人畀佢其斟經已足俾定義兼理解怎辨認兼整個尖塔。)

之不過，個系統查實好脆弱。佢展示其人工智能美好景象，查實好易破滅。

右邊其對話係上面對話其延續—好啦，呢毋係真係去同系統對話令到系統冇，毋過呢類對話的確好似會發生。雖然佢得定義新淨名詞（尖塔），但仍然祇限嚮勁特定種類，因為呢系統其「智能」本來就好有限。至終，佢都係得承認佢甚至毋知自己用其詞係麼意思（「毋好意思，我毋知『毋好意思』係麼耶。」）！

而今，令到我地換個方式來接續對話。呢完全係幻謬出埋咋。雖然對話好短，但滴對話仍然展示出世界知識其豐富。

1. 「機械人」知經已有水槍其情況下，對方其水槍無咩價值。
2. 跟住落來，佢期望對方理解，因為佢無繼續解拒絕接受其因由。
3. 佢發覺對方好有意一塊積木來建個緊要其耶。
4. 跟住，佢察覺到積木其數量好緊要。
5. 佢嘗試用蛤乸個撲笑去軟化對方。
6. 佢表示經已準備好要討價還價嘞。

硬係，呢種程度其對話藝術，經已遠遠超過而今電腦其本事喇！

右方其故事係由另個 80 年代後期其電腦所產生。（譯註：原文後附）雖然佢好易睇出係電腦產出其故事，因為佢所用其句子太簡潔、太制式嘞。但經一番整，加埋許多細節之後就會毋多同。過癮其毋係個故事表面，而係佢得體現出成個故耶節。雖然距離真係人類作者寫出其情節尚有好長一樞路，但佢似乎經已揸住滴衝突其人性元素。呢幾年經已開始浮頭毋少自動產生篇其系統，例如網絡上常見滴內容農場，定係股飛

分析等等。要評估滴系統，要睇有幾多素材係標準其胚騰，又有幾多情節係出埋創意咋。

人：我用一支水槍同你交易大其紅色積木。

機械人：毋好意思，我毋知「交易」係麼耶。

人：「交易」係指自由交換物品。

機械人：毋好意思，我毋知「自由」係麼耶。

人：「自由」即係毋畀強迫做耶，咩事都係出嚮自願。

機械人：毋好意思，我毋知「做耶」係麼耶。

人：「做耶」即係滴人有目的地做，而毋係出嚮意外。

機械人：毋好意思，我毋知「滴人」係麼耶。

人：毋好意思，我謬住你夠叻。

機械人：毋好意思，我毋知「毋好意思」係麼耶。

人：我用一支水槍同你交易大其紅色積木。

機械人：我經已有一支水槍嘞，但我會畀你兩個積木同個三角錐，令到你得同你那隻滑灑灑其老蛤乸撲。

舊陣時，有一隻名嗌杜魯門其北極燕鷗。杜魯門無家可歸。杜魯門需要個竇。佢飛到海岸。杜魯門繫搵滴樹枝。杜魯門無發現樹枝。佢飛到苔原。佢遇到着個名為賀拉斯其北極熊。杜魯門問賀拉斯焉度有滴樹枝。賀拉斯隱瞞着樹枝。賀拉斯告訴杜魯門繫冰山上有滴樹枝。杜魯門飛到冰山。佢繫搵滴樹枝。佢無發現樹枝。賀拉斯繫搵滴肉。佢發現滴肉。佢吃杜魯門。杜魯門死嘞。

而今每年都會舉搞年度洛伯納獎（Loebner prize）其競賽，睇下電腦程式係勿能通過圖靈測試，令到裁判認為佢實際上係人類。截至 2014 年為止，尚無任何電腦程式贏得二獎（得着令到裁判認為人查實係電腦）同首獎（得着令到裁判無法辨識出人同電腦，亦即係通過圖靈測試，一旦首獎頒出，個競賽即宣告退出。）之不過，每年都會頒出裁判認為「至像人類」其電腦程式。1991 年第一次其比賽中，一支電腦程式設法透過特登打錯字而得到個獎！

而今尚未任何人工智能系統通過齊煞其圖靈測試。話煞有無，許多哲學家仍持續繫爭辯，圖靈測試無法真係衡量出大多數人所謂其「智能」。佢所測試其係行為，亦即係一支電腦程式係勿擁有「智能」其表象，但呢毋盡然代表佢有「智能」。若果你無意識、毋認識自己、無知覺、無計感受自我意識、無計體驗愛，甚至無計「活住」，那得算係有人類智能啊？

人工智能其爭論，睇來尚識持續幾十年吧。

延伸閱讀

哲學家 John Haugeland 所著其《Artificial intelligence: the very idea》係本勁傑出、抵閱讀其書。入面談到有關人工智能其爭論，繫個活動中所斟其滴耶亦係由本書來其（認真係 SHRDLU 其對話同佢其討論）。

原始其圖靈測試係由 Alan Turing 所寫其篇《Computing machinery and intelligence》中所斟。呢篇篇繫 1950 年刊登繫《Mind》呢本哲學期刊上，兼夾繫 Feigenbaum 同 Feldman 編著其《Computers and thought》重新畀提出。呢篇篇埋着至開始其兩個對話。

Eliza 係由 J. Weizenbaum 韻 1966 年發表繫《Communications of the Association for Computing Machinery》呢本電腦雜誌中其篇《ELIZA — A computer program for the study of natural language communication between man and machine》所斟。

鍾意堆積木個機械人程式，係由 Terry Winograd 寫其博士論文所提出，發表繫《Understanding natural language》本書（出版社為 Academic Press，1972 年紐約）。

產生故事其程式係由 Tony Smith 同 Ian Witten 繫 1990 年韻《Proceedings of the 10th International Conference on Computing and the Humanities》中發表其《A planning mechanism for generating story text》所斟。故事原文如下：“Once upon a time there was an Arctic tern named Truman. Truman was homeless. Truman needed a nest. He flew to the shore. Truman looked for some twigs. Truman found no twigs. He flew to the tundra. He met a polar bear named Horace. Truman asked Horace where there were some twigs. Horace concealed the twigs. Horace told Truman there were some twigs on the iceberg. Truman flew to the iceberg. He looked for some twigs. He found no twigs. Horace looked for some meat. He found some meat. He ate Truman. Truman died.”

原著：Tim Bell, Ian H. Witten, Mike Fellows

活動設計：Robyn Adams, Jane McKenzie

插畫：Matt Powell

2015 年修訂版：Sam Jarman

譯者：翁佳驥等 65 人

發行人兼總編輯：翁佳驥

校稿：丁國傑、邱彥銘、Jason Tsai

插圖漢化：翁佳驥

排版：唐鼎鈞、徐佳筠、陳昀聖、曾柏萱、翁鈺璋

出版：中華民國軟體自由協會

地址：221 新北市汐止區汐萬路三段 199 巷 26 弄 4 號

電話：(02) 5593-3701

傳真：(02) 7741-7371

電子郵件信箱：service@slat.org

印刷：沈氏藝術印刷股份有限公司

初版：2016 年 3 月

本書牌照：CC BY-NC-SA 3.0

著作權所有：© csunplugged.org



中華民國軟體自由協會

捐款戶口：

國泰世華銀行中和分行

戶口：045-03-902135-1

戶名：中華民國軟體自由協會翁佳驥