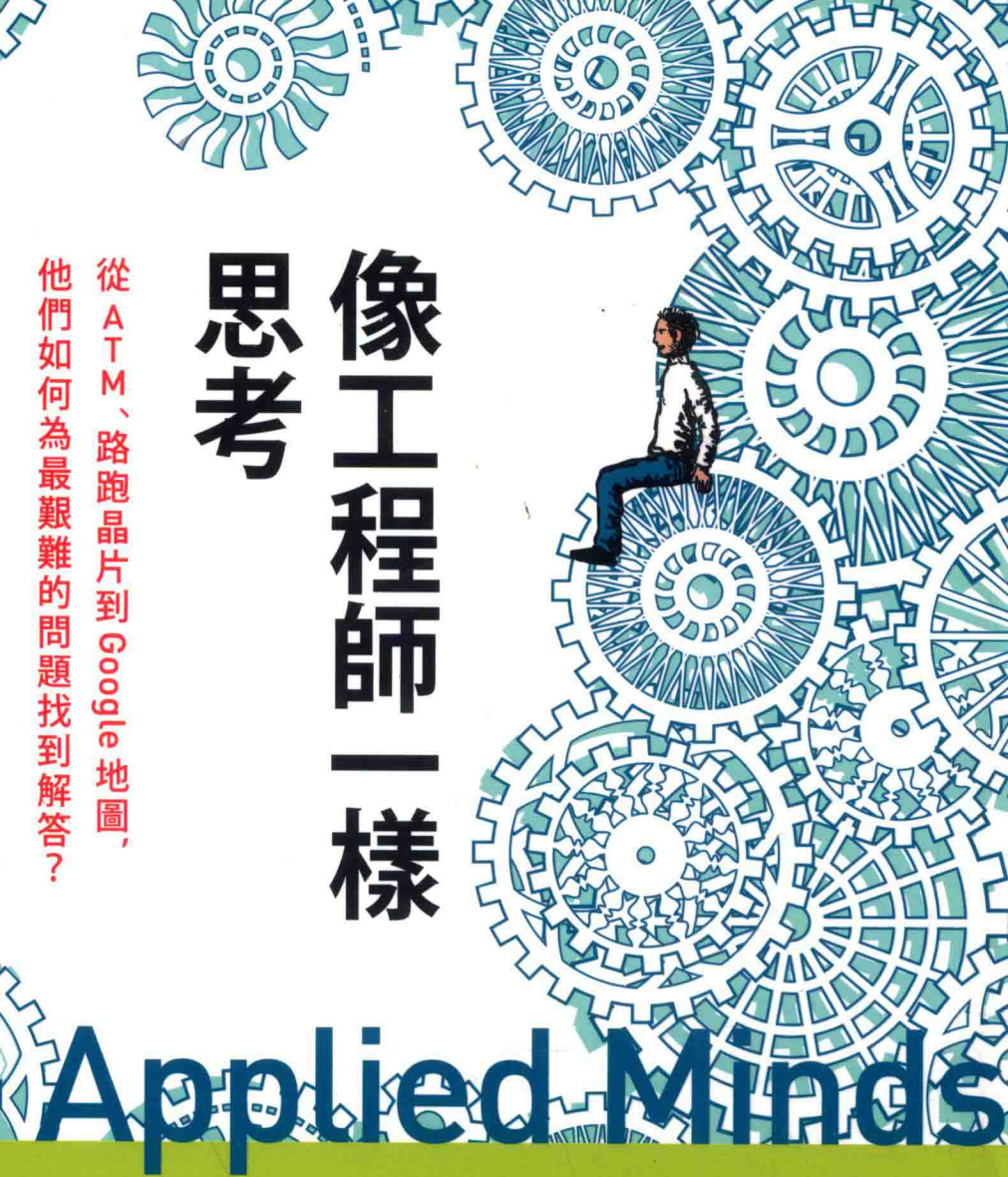




像工程師一樣 思考

從ATM、路跑晶片到Google地圖，
他們如何為最艱難的問題找到解答？

Applied Minds

How Engineers Think

成千上萬的馬拉松跑者當中，什麼設計能讓作弊的選手無所遁形？
從香蕉到菸灰缸等形形色色的商品，如何只靠一種系統就能精準管理？

第一本揭開工程師思考模式與發想邏輯的著作，
教你如何在生活中找到更有效率的解決方案！

Guru Madhavan
古魯·馬德哈文
——著
陳雅莉——譯

著



像工程師一樣 思考

從ATM、路跑晶片到Google地圖，
他們如何為最艱難的問題找到解答？

Applied Minds

How Engineers Think

Guru Madhavan
古魯 馬德哈文 著
陳雅莉 譯

商周其他系列 BO0225

像工程師一樣思考

從ATM、路跑晶片到Google地圖，
他們如何為最艱難的問題找到解答？

原文書名 / Applied Minds: How Engineers Think

作者 / 古魯·馬德哈文 (Guru Madhavan)

譯者 / 陳雅莉

企劃選書 / 黃鈺雯

責任編輯 / 黃鈺雯

版權 / 黃淑敏

行銷業務 / 張倚禎、石一志

總編輯 / 陳美靜

總經理 / 彭之琬

發行人 / 何飛鵬

法律顧問 / 台英國際商務法律事務所

出版 / 商周出版 臺北市中山區民生東路二段141號9樓

電話：(02)2500-7008 傳真：(02)2500-7759

E-mail：bwp.service@cite.com.tw

發行 / 英屬蓋曼群島商家庭傳媒股份有限公司 城邦分公司

台北市104民生東路二段141號2樓

電話：(02)2500-0888 傳真：(02)2500-1938

讀者服務專線：0800-020-299 24小時傳真服務：(02)2517-0999

讀者服務信箱：service@readingclub.com.tw

劃撥帳號：19833503

戶名：英屬蓋曼群島商家庭傳媒股份有限公司城邦分公司

香港 / 城邦(香港)出版集團有限公司

發行所 香港灣仔駱克道193號東超商業中心1樓

電話：(852)2508-6231 傳真：(852)2578-9337

E-mail：hkcite@biznetvigator.com

馬新 / 城邦(馬新)出版集團

發行所 Cite (M) Sdn Bhd

41, Jalan Radin Anum, Bandar Baru Sri Petaling,

57000 Kuala Lumpur, Malaysia.

電話：(603)9057-8822 傳真：(603)9057-6622 email: cite@cite.com.my

封面設計 / 江孟達 內文設計暨排版 / 無私設計·洪偉傑 印刷 / 鴻霖印刷傳媒股份有限公司

總經銷 / 聯合發行股份有限公司 電話：(02)2917-8022 傳真：(02) 2911-0053

地址：新北市231新店區寶橋路235巷6弄6號2樓

ISBN / 978-986-272-895-6

版權所有·翻印必究 (Printed in Taiwan)

定價 / 300元

城邦讀書花園

www.cite.com.tw

2015年(民104)10月初版

2015年(民104)11月初版2.5刷

Copyright © 2015 by Guru Madhavan

This edition arranged with Tessler Literary Agency through Andrew Nurnberg Associates International Limited
Complex Chinese Translation copyright © 2015 by Business Weekly Publications, a division of Cité Publishing Ltd.

All Rights Reserved

目 錄 C O N T E N T S

前 言 無所不在，卻難以看見的橋樑 5

第一章 擊碎舊時代的大砲 19

——組合與配對

第二章 如何讓十萬輛汽車消失？ 39

——最佳化

第三章 遍布世界每個角落的 ATM 61

——效率與可靠性

第四章 從意外發現到百倍量產的盤尼西林 78

——有彈性的標準化

第五章 全世界最潔淨的恆河 93

——條件限制下的解決方案

第六章 國會殿堂裡的工程師 116

——跨越與適應

第七章 底片公司誕生的第一台數位相機 135

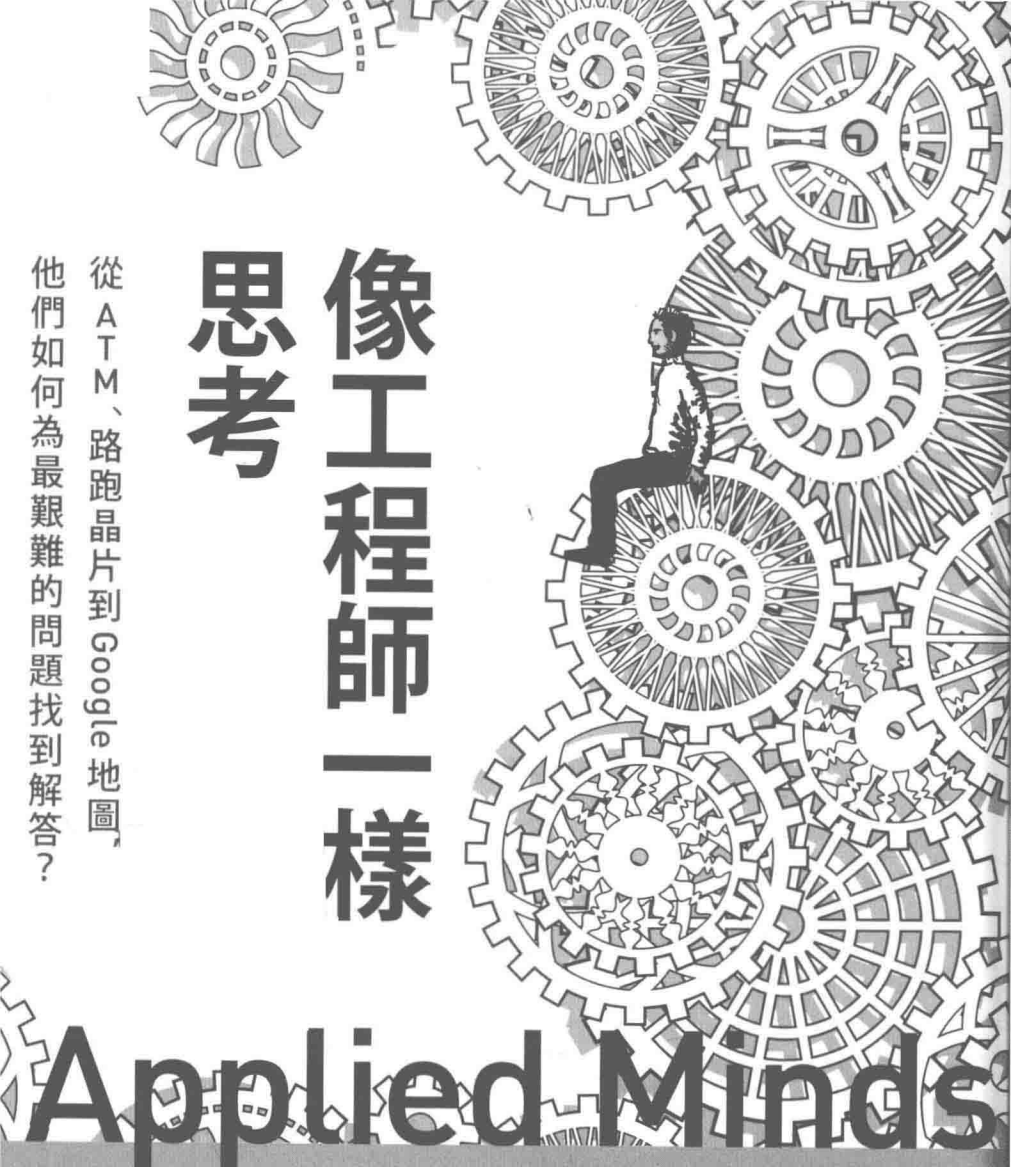
——製作原型

第八章 讓孩子用番茄醬畫出微笑 155

——向他人學習

後 記 每個人都是工程師，解決生活每個棘手的難題 177

資料來源 187



像工程師一樣 思考

從ATM、路跑晶片到Google地圖，
他們如何為最艱難的問題找到解答？

Applied Minds

How Engineers Think

古魯 馬德哈文
Guru Madhavan
陳雅莉 譯

著

目 錄 C O N T E N T S

前 言 無所不在，卻難以看見的橋樑 5

第一章 擊碎舊時代的大砲 19

——組合與配對

第二章 如何讓十萬輛汽車消失？ 39

——最佳化

第三章 遍布世界每個角落的 ATM 61

——效率與可靠性

第四章 從意外發現到百倍量產的盤尼西林 78

——有彈性的標準化

第五章 全世界最潔淨的恆河 93

——條件限制下的解決方案

第六章 國會殿堂裡的工程師 116

——跨越與適應

第七章 底片公司誕生的第一台數位相機 135

——製作原型

第八章 讓孩子用番茄醬畫出微笑 155

——向他人學習

後 記 每個人都是工程師，解決生活每個棘手的難題 177

資料來源 187

無所不在，卻難以看見的橋樑

沒人曉得她是從哪兒冒出來的。

一九八〇年四月的某個下午，在湛藍的天空下，波士頓馬拉松比賽正熱鬧地舉行。街道兩側，布滿了許多騎警隊員和數百名醫療救護人員；一架小型飛機則用噴出來的白煙在空中寫著：「開心享受比賽的樂趣吧！」

波士頓馬拉松的跑道全程共有二十六英里，包含四個相當陡峭的斜坡，但最令人聞之喪膽的是「心碎坡」(Heartbreak Hill)，大概位於十九英里處。五千多名參賽的跑者中，通常會有幾百人撐不過這個關卡而結束比賽。

大約兩點半時，波士頓馬拉松傳奇人物羅傑斯 (Bill Rodgers) 率先穿越終點線，成績為兩小時十二分。羅傑斯已連續三年奪冠。過了幾分鐘後，在一片歡呼聲和喧鬧聲中，一名約莫二十五、六歲的年輕女子，身穿黃白相間的愛迪達慢跑服，用百米衝刺的速度完成賽事，以兩小

時三十一分的成績，在所有女子選手中排名第一。

她的芳名是魯伊斯（Rosie Ruiz）。

她為波士頓馬拉松創下新紀錄，並且成為馬拉松史上第三快的女跑者。當領先的其他選手陸續抵達終點時，現場歡呼聲仍持續不斷。一名電視台記者立即宣布兩小時三十一分的成績是「美國的新紀錄」，隨即訪問了魯伊斯。

記者：妳有史以來第一次參加馬拉松比賽的成績是多少？在哪裡？

魯伊斯：第一次參賽是去年的紐約馬拉松，成績為兩小時五十六分三十三秒。

記者：妳從兩小時五十六分進步到兩小時三十一分？

魯伊斯：我猜是吧。

記者：妳的馬拉松成績進步了，妳會歸功於什麼原因？

魯伊斯：我不知道。

記者：妳有做過大量而劇烈的間歇跑（intervals）訓練嗎？

魯伊斯：其他人也問過我這個問題，我不確定什麼是間歇跑。到底間歇跑是什麼意思？

記者：間歇跑是一種鍛鍊跑步的方式，可以使妳的速度明顯提升。假如妳從兩小時五十六分進步到兩小時三十一分，大家通常會認為妳做了很多速度訓練。是否有

人教導妳或建議妳這樣做？

魯伊斯：沒有，只有我教導我自己。

記者：魯伊斯，妳的表現實在是太棒了。恭喜妳，魯伊斯，神祕的女子冠軍出爐！

▽波士頓馬拉松作弊事件：神祕的女子冠軍

然而，賽事官員卻抱持懷疑的態度。魯伊斯看起來既不疲憊，也沒有汗流浹背，更沒有馬拉松選手的體格。在整個賽道的六個檢查哨中，沒有人見過魯伊斯。更重要的是，記錄全程比賽的錄影畫面中，都沒有發現她的身影，而且現場還有一百五十萬名觀眾，以及六百多位記者觀看比賽。

一位目擊者說：「我只看到眼前有一個人，從人群中踉蹌地跑了出來，就在聯邦大道對面的街上，距離終點大概還有半英里左右。她穿著慢跑服，身上掛著號碼布，我還以為是有人跌跌撞撞地晃進了賽道，也許是有點發神經之類的人。」

其他幾個人也都深表同意。

經快速進行背景調查後，結果顯示魯伊斯是古巴移民，在曼哈頓的一家金屬商品公司擔任行政助理。波士頓馬拉松賽事官員也很快地發現，魯伊斯在此之前只參加過一次馬拉松賽事，那

就是一九七九年的紐約馬拉松，是波士頓馬拉松的資格賽。一位新聞攝影記者後來回憶，魯伊斯在紐約馬拉松中曾經作弊，搭地鐵到哥倫布圓環（Columbus Circle），再從那裡跑向位於中央公園的終點線。

一九七九年，魯伊斯令人嘆為觀止的造假，讓她「贏得」波士頓馬拉松的參賽資格。但在波士頓馬拉松中，她同樣只跑了最後一英里左右。魯伊斯的立場不變，看起來就像修女一樣誠懇，而且準備好接受大量的測謊。經過將近一星期的調查，波士頓體育協會（Boston Athletic Association）判定魯伊斯作弊，不採信她的成績，並且取消她的參賽資格。

結果，魯伊斯遭到逮捕。

魯伊斯醜聞提供了充足的素材給媒體。美國廣播公司（ABC）深夜現場喜劇節目《星期五》（Fridays）就如此嘲笑：「當她穿著露趾涼鞋、叼著一根菸，穿越全程二十六·二英里馬拉松的終點線時，賽事官員就起了疑心。」

私下熟識魯伊斯的人告訴媒體：「如果你要求她流下五滴眼淚，她真的會滴下五滴眼淚。」魯伊斯很可能是馬拉松違紀事件中，惡名昭彰的代表人物之一。正如某位《紐約時報》（The New York Times）記者所說：「她的名字就像脆弱的瓷器娃娃般，破損之後又再重新修復。」

對於馬拉松主辦單位來說，魯伊斯事件彰顯出一個難題：她的作弊顯而易見，卻也暴露出一項事實：要監督一場多達數千人的比賽，是一項艱鉅的挑戰。他們要如何防止未來可能發生的

造假行為？工程學從原先用來處理兩個不同問題的發明組合中，提供了解決方案。

▽追蹤列車的條碼掃描系統

一九五九年，美國的鐵路公司面臨一個棘手的問題。鐵道系統包含將近一百六十萬輛貨運列車，鐵路公司官員需要知道每輛列車在每天午夜時的確切位置。這些火車的行蹤意味著公司的營收，但卻缺乏方法追蹤它們的下落。現在需要的是一套能辨識和定位這些貨運列車的自動裝置。

大約此時，柯林斯（David Collins）加入了電子產品公司西爾韋尼亞（Sylvania）的營運研究部門。擁有麻省理工學院碩士學位的他，熱愛當一名工程師。柯林斯非常喜歡工程師的身分，以至於有時候會跟妻子開玩笑說，下輩子他想要創作電視和電影劇本，把工程師寫成超級大英雄。

從一名同事口中，柯林斯得知鐵道公司的難題。大學時代，他曾經在賓州鐵路公司（Pennsylvania Railroad）實習，對鐵路系統有大略的了解。「這個挑戰令我著迷，」他回憶，「我開始在實驗室裡討論對這個計畫的想法。」

每一節火車車廂都標有水平序列編號，由六位數的公司碼及四位數的車廂碼組成。就像西

部牧場主人為牛隻烙上印記一樣，這些編碼都有不同的反光顏色，如紅色、藍色和白色，印在不反光的黑底上。另外，這些編碼還有不同的寬度、字體，在車廂上也沒有標準的位置。

火車本身則有不同的尺寸，包括：罐車、篷車、平車等；最後一種有時候是九英尺高的半拖車。這些不一致性，都使得嘗試讀取車廂編號更加困難。列車的行駛速度也不一樣，最快的列車每小時達六十英里，有的列車則緩慢前進，以接近地磅秤。因此，顯而易見的是，需要有動態掃描技術，才能克服這些問題。

「也就是說，你有一套編碼系統，早已準備就緒長達五十年之久，但卻沒辦法獲取你要的資訊，也無法以機器可讀的形式，取得所要的訊息。」柯林斯說，他開始利用私人時間，研究這項專案計畫，最終贏得老闆的支持。總的來說，他表示：「這有點像是用已無人談論的牧場為基礎，所做出的判斷。」

柯林斯的想法是，研發一套光學感應系統，能夠發出白色光束到遠處的編碼上，然後將反射回來的信號加以解碼。他專注於基本的設計元素，例如編碼的圓點大小（光束可投射和反射的特定區域）、掃描速率（要達到準確讀取，編碼每一秒需要讀取多少次），以及範圍深度（掃描儀器最遠可讀取的範圍）。

初步的實驗結果令人很火大。柯林斯的同僚史地蒂斯（Frank Sites），也是一位工程師，對於這個難題也深感挫折。然而，讓他們靈光乍現的機緣，就這麼誕生了。史地蒂斯激發柯林斯開

始去想：「為什麼不把編碼標籤貼到側邊一點？」這真是個聰明的點子。

垂直掃描代碼，也就是把原本類似柵欄的排列方式，轉換成梯級的樣式，結果顯示這是一種技術上非常優異的替代方案。柯林斯設計出一種附有旋轉鏡子的行動光源，取代以穩定的白色光束瞄準通過的列車，後者的做法通常只能碰碰運氣。柯林斯的掃描儀器現在能夠從有顏色的編碼裡，持續接收讀取到的樣式，並且破解列車的訊息。

接著，其他問題也一一浮現：在面對變化莫測的列車速度時，掃描儀器能否確實可靠地運作？當下雪、下雨和起霧時，是否能完成感應？假如編碼表面有髒汙，掃描是否仍會準確無誤？

「你沒辦法在實驗室裡測試，」柯林斯說，「必須要到戶外用真正的列車車廂實驗，但我們連鐵路也沒有。」

柯林斯在專用的鐵路線附近設立測試基地，這條火車路線用來搬運材料，把建材從新罕布夏州拖運到波士頓地區，作為州際擴建工程之用。這條路線的火車通常一天會穿越測試基地一次，柯林斯可以利用這個機會，在數百輛貨運列車上，勤奮地測試掃描儀器和發條裝置的精準度。他把這台掃描儀器取名為「白光條碼系統」(KarTrak)。在隨後的幾年中，柯林斯用氦氖雷射取代白光，藉以提升這套條碼系統的性能。到了一九六七年，這套條碼系統的實際應用，已經開始擴展到整個鐵路業。

最終的結果是？柯林斯的條碼系統，已成為一種可以從遠處讀取條碼的多用途技術。

▽從香皂到咖啡罐都適用的統一商品代碼

一九七〇年代，某一天早上，勞勒（George Launer）駕著他的雪佛蘭Nova金屬綠色轎車，沿著羅利·貝爾特萊恩（Raleigh Beltime）公路行駛。他回想起大學畢業後，曾和大學好友沿著東海岸一起免費搭車旅行的時光。他們當時身無分文，亟需一份工作。對工程師來說，一九五〇年代初期的就業市場，即使不能說嚴峻，也是相當蕭瑟。勞勒已經準備好接下能付給他每小時超過一·五美元的工作。在面試之前，他會到當地派出所，詢問是否能幫忙刷洗廁所。數月後，勞勒在IBM找到一份不錯的差事，並且在IBM度過整個職業生涯。

勞勒現已退休，神情安祥寧靜，長得有點像好萊塢老牌明星霍爾布魯克（Hal Holbrook），看起來皮膚蒼白、滿頭銀髮，而且眉毛濃密。在他鄉下房子裡的書房，有如文藝復興時期工作坊的現代版，裡面包含他的各種收藏，有機械工具、電子零件、技術手冊，以及各式各樣的書籍，如《焊接完全手冊》（*Complete Book of Welding*）、《戶外工程》（*Outdoor Projects*）、《美國郵票冊》（*American Stamp Album*）、《車身維修與烤漆基礎》（*Basic Bodywork and Painting*）、《TurboCAD參考手冊》（*TurboCAD Reference Manual*）、《從零開始製作模型飛機》（*Building Model Airplanes*

from Scratch)。天花板上則懸掛了一架用輕質木材製成的飛機模型。

一九七〇年代初期，庫存管理效率不彰，使整個食品雜貨業陷入癱瘓。許多公司都需要一套能省錢的方法。有一個想法是使用條碼系統，追蹤食品雜貨產品。由亨氏食品、通用食品、克羅格公司、通用磨坊、聯合食品、費爾蒙特食品、必治妥施寶寶等公司高層主管所組成的委員會，廣發英雄帖，希望徵集設計追蹤條碼的提案。一九七一年，IBM 接受了這項挑戰。

勞勒被指派負責這項專案計畫，並在他的上司指示下，支援同心圓環形碼，俗稱「公牛眼碼」(bull's-eye code)，這種編碼是由另一位工程師在幾年前所開發。「我努力實驗了一、兩天。」勞勒回憶，他很快就確信，這種設計無法滿足食品雜貨業的需求。

條碼的大小必須是不超過一英寸半的正方形，而且要讓人類和電子儀器容易讀取。接著，這種條碼本身必須能印製在各種怪異尺寸的產品上，像是香皂、早餐穀片盒、咖啡罐等。十位數的條碼必須是全向性的，並具有至少九九·九九五%的精確度，這意味著每賣出兩萬個物品，只能有一個錯誤。此外，符合這些標準的過程中，不能增加食品的生產成本。在種種嚴格的限制下，勞勒開始研究解決方案。

冒著丟飯碗的風險，勞勒違反主管的指令，開始著手打造一種更好的方法。他設計的條碼，包含十個垂直的黑色與白色條紋，而且寬度不同。深黑色的條碼會吸收光線，而白色條碼則會反射光線。光學感應器可以接收這種反射光，並轉換成電脈衝，再由電腦來處理。