

# 一個新的糖尿病患者飲食推薦方法

陳榮靜

朝陽科技大學資訊管理系  
crching@cyut.edu.tw

江慧琴

朝陽科技大學資訊管理系  
hqjiang@xmut.edu.cn

羅育文

朝陽科技大學資訊管理系  
nickyuwen@gmail.com

## 摘要

隨著經濟的快速發展，人們在飲食結構上也不同以往有了很大的變化，高熱量、高脂肪、高蛋白的食物使得現在人罹患糖尿病的人數逐年增加。也因此在本研究中，我們希望建立一個專為糖尿病患者的飲食推薦系統。本研究透過使用 Protégé 來輔助建立我們的食品知識庫。並使用 Fuzzy Logic 做為系統之前導推論，依患者之身體資訊推論出適合使用者每日所需之總熱量值，使用 JENA 做為我們的推論器並建立我們的知識規則。最後，我們將配合營養師對糖尿病飲食的專業，結合類背包演算法與 TOPSIS 演算法對推薦出的飲食組合進行進一步的排序以求更科學合理的推薦。

**關鍵詞：**本體論、飲食推薦、JENA、模糊邏輯、TOPSIS。

## Abstract

With the rapid development of economy, the diet of people has changed a lot. High calorie, high fat, high protein foods make the amount of the patients with diabetes increase each year. Therefore, we propose a diet recommendation system. We firstly establish food ontology using Protege. We use Fuzzy Logic system combined with Jena inference to infer daily calories demand for patients, according to the patient's health information. Knapsack-like algorithm is used to figure out diet combinations. In the last step TOPSIS algorithm is applied to sort the diet combinations in the guiding of the nutritionist

**Keywords:** Ontology, JENA Rules, Dietary Recommendations, Fuzzy Logic, TOPSIS.

## 1. 前言

世界衛生組織(WHO)的 2012 年世界衛生統計之統計數字[6]顯示，全球約有 3.47 多億的糖尿病患者，這也使得糖尿病在繼腫瘤與心血管疾病後成為威脅人類生病健康的第三大殺手，若無及時治療，將會導致心血管疾病、失明和腎功能衰竭等多種併發症。而台灣的糖尿病人口成長在 1997 到 2011 年之間由 53.8 萬人激增至 145 萬人，成長幅度約 2.7 倍，且有年齡層逐年下降的趨勢。而在這些數據中，約三成的糖尿病患者同時合併心血管病變，超過六成的糖尿病患者同時罹患高血壓、高血脂。

行政院衛生署統計 99、100、101 年的國人前 10 大死因[1]，糖尿病排名在這三年中排名都在前 5 內，而其中 100 年更上升到第 4 位。與此相對應的是醫療費用的逐年增加，其花費更在 2009 年已突破 1 千億，佔總體健保支出的 22%，也就等於政府每日需花費 3 億元用於糖尿病醫療成本中，也因此糖尿病的治療與預防更需要我們好好關切。

中華民國糖尿病學會統計發現，臺灣地區糖尿病患者 90% 以上的是第二型糖尿病患者。二型糖尿病是一種與飲食，運動，肥胖等生活方式關係極大的一種疾病。飲食治療是糖尿病治療的一項基本治療措施，無論病情輕重，無論使用何種藥物治療，均應長期堅持飲食控制。合理飲食治療可維持正常體重，減輕胰島細胞負荷，有效地控制和穩定血糖，以減少對藥物的依賴性[7]，也因此本研究希望為糖尿病患者建立一個飲食知識推薦系統。本研究為了讓資訊更容易使用於日常生活中，於是選擇了糖尿病學會出版的台灣小吃營養大解析-北台灣[3]、台灣小吃營養大解析-中台灣[4]以及台灣小吃營養大解析-南台灣[5]這三本書上的食品成份表建構本研究的食物知識本體，再以行政院衛生署的食品分類做為分類依據[2]。由飲食營養專家給予的疾病與飲食等相關知識先透過 Fuzzy 邏輯將使用者資訊轉化，再由知識規則透

過JENA規則的方式呈現並加至推論器中,再使用類背包演算法與逼近理想解排序法(Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution TOPSIS)演算法,推薦出較完善的飲食建議給使用者,本論文的其他部分包括第二節的相關研究、第三節的研究方法、第四節的初步實驗,最後是結論與建議。

## 2. 相關研究

本節將會介紹國內外飲食推薦系統的研究情況、本體論、模糊理論、JENA推論器、背包問題、TOPSIS演算法。

### 2.1 國內外飲食推薦系統

食譜推薦系統最早受到關注是在基於案例推理(case-based reasoning)領域。Freyne and Berkovsky [14]介紹了一種以內容為導向的食譜推薦系統,這種推薦演算法是基於使用者對食譜的排名。協同濾波方式的食譜推薦系統也是食譜推薦系統的另一大分支。Freyne and Berkovsky[14]比較了幾種個性化食譜推薦系統,包括以內容為導向的,協同濾波,混合食譜推薦系統,他發現協同濾波食譜推薦系統的推薦準確性比不上以內容為導向的食譜推薦系統。除此之外Svensson et.al[34]調查發現他們的協同濾波食譜推薦系統推薦的食物只有18%被用戶接受。

雖然目前有大量的有關食譜推薦系統的文獻,但針對糖尿病病人進行的食譜推薦文獻卻屈指可數。Maiyaporn Phanich et al.[32]為了增加糖尿病人飲食的多樣性,通過對食物中八大主要營養成分進行的相似度測量,對它們進行聚類分析。這篇文獻並沒有考慮病人的個體差異,只是針對食品資料庫中的資料進行聚類分析,因此推薦系統的實用性不強。Chang-Shang Lee教授建議了一種基於type 2模糊本體的糖尿病人飲食推薦系統,此篇文獻在計算糖尿病人每日所需合理熱量時沒有考慮活動量的影響,它通過每日所需總熱量減去早餐午餐攝入量後對晚餐進行食物推薦,沒有將每天所需熱量合理分配到三餐[22]。Maya Sappelli[35]建議一種針對糖尿病人的自我調整飲食推薦系統,他認為飲食推薦與被推薦人(糖尿病患者)當天的狀況關係很大,所以該系統測重在對糖尿病人的狀況的自我調整學習演算法上。糖尿病特別是二型糖尿病治療

與生活方式(飲食,運動)關係緊密,因此對糖尿病人進行飲食推薦是一件緊迫而有十分有益的工作,所以我們在此專案中建議一種結合TOPSIS的模糊本體二型糖尿病人飲食推薦系統,我們用本體建構食物知識。

### 2.2 本體論

近年來國內醫學相關領域對於本體論的應用廣泛,顏永泰的“整合資訊檢索與醫學本體論之知識管理系統”[27],該研究以嚴重急性呼吸道症候群為主題,構建了一個以本體論為基礎的SARS知識管理系統,整合四種SARS相關的資料來源:生物醫學文獻、電子病歷,醫院標準作業程式與新聞。蔡文傑應用本體論為基礎,在“建立數位遊戲本體導向知識庫應用與認知複建”[13],以分析現有的數字遊戲,再將分析後具有治療意義的遊戲元件知識實例儲存在該本體中。

Li等學者[23]使用台灣行政院衛生署網站上的食品資訊為基礎,提出自動食物本體建構方法。藉由專家所提供二十四類營養素的權重來做為本體建置時的權重與分類,進而建立出更良好的飲物知識本體。

為了使食品資訊更貼近患者日常生活,本研究選擇糖尿病學會所出版的台灣小吃營養大解析-北台灣[3]、台灣小吃營養大解析-中台灣[4]以及台灣小吃營養大解析-南台灣[5]這三本書上的食品成份表建構本研究的食物知識本體,再以行政院衛生署的食品分類做為分類依據[2]。

### 2.3 模糊理論

模糊理論最初是美國加州柏克萊大學,電子及計算學系教授扎德(L.A.Zadeh)在1965年在資訊與控制的專門性學術雜誌上,發表模糊集合(FUZZY SET)論文所創建的,是一門模仿人類思考,處理存在於所有物理系統中的不精確本質的數位控制方法學。模糊理論認為,人類的思考邏輯是模糊的,但即使是條件和資料不明確時,仍必須作下判斷。因此,模糊邏輯理論能以0與1之間的數值來表明模糊概念的程度,用「歸屬度函數」的形式將人類的主觀判斷數值化。

Lee等學者[22]提出了以Type2 fuzzy ontology來產生個人化的糖尿病飲食推薦系統。是以Type 2 fuzzy來建立個人飲食本體,

其中包含個人資料本體以及飲食本體。借由飲食本體的部份加入了 Type 2 fuzzy sets 應用，並將六大類食物做出更細的區分，以達到使用者對於飲食上的建議。再結合個人檔案的本體使用 Type 2 fuzzy sets 便能告知使用者吃的食物種類是否過量或過少，經由這種方法來給予使用者他的飲食規劃。

但由於 Lee 等學者[22]所提出的方法雖然能夠推薦出使用者一天所不足的营养，但這對於一天三餐不正常的使用者來說是不全然有益的，例如我們假設使用者在前面兩餐吃很少或吃很多，那第三餐的變動可能會導致使用者暴飲暴食且對人體的吸收影響是很大的。

## 2.4 JENA 推論器

JENA 最初由 HP 實驗室為了更容易於 Web 語義網上開發應用程序與使用 Web 語義網上的訊息模型與語義所開發出來的[18]。JENA 還支持各種不同的儲存格式技術[18]，如 RDF、RDFS、OWL、和 SPARQL[19]。並且 JENA 還支援規則為基礎的推論引擎[19][28]。

JENA 包含以下五個功能特性：RDF 應用介面、在 RDF/XML、N3 和 N-Triples 中讀(寫)RDF、OWL 應用介面、可以是以隨機存取記憶體(RAM)或是永久儲存方式和 SPARQL 查詢語言[28]。

## 2.5 背包問題

背包問題(Knapsack Problem)，是典型的演算法題型，屬於 NP Complete 的問題，而其演算的方法至今已有許多的變形如：0/1 背包問題、貪婪背包、Branch-and-Bound Strategy 背包問題等。而其主要的概念是在解決如：將一群物品塞進背包中，令背包裡面的物品總價值最高。背包沒有容量限制，無論物品是什麼形狀大小，都能塞進背包；但是背包有重量限制。[24][25]

## 2.6 TOPSIS 演算法

TOPSIS (Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution)分析法是由 Yoon 和 Hwang [16]於 1981 年發展出來的一種評估方法，進行方案決策之績效值與排序。其觀念在於最佳方案應為距離正理想解最近，而且距離負理想解為最遠的方案。所謂正理想解意指替選方案中，效益面最大或成本面最小的

準則值；反之，效益面最小或成本面最大之準則值即為負理想解，以距離理想解最近而距離負理想解最遠的人選即為最佳選擇(如圖一)。

計畫中推薦系統採用 TOPSIS 進行判決，將符合三大營養素要求小吃組合作為有限個評價物件，而在 TOPSIS 法中的標準(criteria)分為效益標準(benefit criteria)和成本標準(cost criteria)，我們將食物中不利的因素作為成本標準，而對患者有益的適中的營養成分作為效益標準，通過 TOPSIS 法對多個食譜組合進行判決，對被推薦小吃組合的進一步排序。

TOPSIS 法基本觀念在於先界定理想解(positive-ideal solution)與負理想解(negative-ideal solution)，理想解是各替選方案效益面屬性之評估值最大，成本面屬性之評估值最小者。負理想解是各替選方案效益面屬性之評估值最小，成本面屬性之評估值最大者。

綜合以上相關文獻，本計畫中我們構建了一個糖尿病人的飲食推薦系統，它結合了本體論，模糊邏輯，TOPSIS 等關鍵技術，本系統的特色是它考慮活動量對糖尿病人飲食推薦的影響，這是在其它糖尿病患者飲食推薦系統沒有考慮的，而運動是糖尿病控制和治療的重要環節，所以這一因素的考慮使得本推薦系統更加科學實用。

## 3. 研究方法

推薦系統有三個組成要素：患者資訊處理、模糊系統建置、食譜本體及 JENA 推理、類背包演算法、TOPSIS 演算法。此章節我們會依次介紹糖尿病飲食推薦系統三的設計方法。本研究中的推薦系統初步架構圖(如圖二)。

### 3.1 患者資訊處理

為了能有效地推薦飲食給患者，所以首先要瞭解患者的個人資訊，其內容包括身高，體重，年齡，病情，活動量以及用戶的飲食偏好等。我們先要瞭解人體每日所需熱量的計算方法。由於正常體重者和肥胖者熱量需求計算公式不同，所以我們先要判斷肥胖，正常的體重的定義。公式(1)中的 BW 代表體重，單位為公斤，BH 代表身高，單位為公尺。BMI 是為了確認是否過重以及是否為標準體重，偏重為 BMI>23.9，標準的 BMI 值介於 18.5 和 23.9，偏輕為 BMI 值<18.5。

$$BMI = BW / BH^2 \quad (1)$$

成人每日所需的總熱量來自三方面:總熱量=基礎代謝量+活動量+攝食產熱效應。標準體重者的熱量可以利用 Harris-Benedict 的計算公式,求得男性及女性一日基礎消耗熱量(basal energy expenditure;BEE),公式如下:

$$M_{be e} (\text{大卡})=66.47+[13.75 \times W_m (\text{公斤})]+[5 \times H_{mc}(\text{公分})]-[6.76 \times A_m(\text{歲})] \quad (2)$$

$$F_{be e} (\text{大卡})=655.1+[9.56 \times W_f (\text{公斤})]+[1.85 \times H_f(\text{公分})]-[4.68 A_f(\text{歲})] \quad (3)$$

其中 Mbee 為男性每日所需的熱量而 Fbee 為女性每日所需的熱量,  $W_m$  和  $W_f$  分別為男性和女性體重;  $H_m$  和  $H_f$  分別為男性和女性身高;  $A_m$  和  $A_f$  分別為男性和女性年紀。由於肥胖者的體脂肪組織較多,若以實際體重來計算基礎代謝率,則會有高估的現象,所以實際體重大於理想體重 120% 者,其體重應先經過調整,調整體重(adjusted body weight; ABW)計算方式如下:

$$ABW=(BW-IBW)*0.25+IBW \quad (4)$$

其中  $IBW = BH^2 \times 22$  ( $IBW$  代表理想體重,單位為公斤  $BH$  代表身高,單位為公尺)。在計算出調整體重之後,再以  $ABW$  代入一般基礎代謝率公式予以計算,所得之基礎代謝率才是肥胖者的基礎代謝率。活動量按消耗的熱量可區分為四等級(如表 1)。

攝食產熱效應(diet-induced thermogenesis ;DIT, thermic effect of food; TEF)又被稱之為必須性產熱效應(specific dynamic effect; SDE)或是特殊動力效應(specific dynamic action; SDA),其為食物在被攝取後於體內進行消化、吸收、運輸、代謝作用等過程所需要的熱量。

$$TEF=(\text{基礎代謝率}+\text{活動量}) \times 10\% \quad (5)$$

熱量是通過三大營養素(糖類,脂肪,蛋白質),根據以上的公式計算出總熱量後我們將它分配到三大營養素去,分配為醣類:55%、脂肪:30%以及蛋白質:15%。此比例可上下浮動 10%。糖類的熱量為每公克產生 4 千卡:4kcal/g; 脂肪的熱量為 9kcal/g; 蛋白質熱量為 4kcal/g。因為糖尿病患者的病情個體差異較大,有的病人病情較輕,有的病人病情較重,

同時還有病人患有病併發症,如高血壓,高血脂,在做飲食推薦系統時還需要考慮這些因素。對於同時患有高血壓併發症的病人應避免食用醃製品、調味料以及加工品。如是單純高血壓,禁止鈉含量高之食品,並建議使用低鈉高鉀(市售之低鈉鹽)。對於同時患有高血脂病人,應降低高膽固醇禁食:雞皮、豬皮、...皮、肥肉、高湯、肉湯、加工品、內臟、蛋黃(3 個/星期)、蟹黃、蟹黃膏以及烏魚子。糖尿病人因為病程長短不同,病情嚴重程度各異,醫生建議血糖控制目標因人而異。當患者的血糖高於醫生建議的控制範圍,就應適當減少糖類營養素的攝入。在營養師的建議下,在此推薦過程中先要通過使用者介面獲取的患者的資訊有:身高、體重、活動量、併發症(高血壓、高血脂),血糖是否在控制範圍內及食物偏好。

我們可以通過確定的公式計算 BMI, IBW, 以及健康者每日的熱量需求等參數,但當要考慮活動量,多種併發症的糖尿病患者的營養素需求,需要依據專家意見,語言表達推薦意見,這是由於並沒有確切的函數或系統能推導這六個輸入參數和三個輸出參數的關係,我們可以考慮用模糊邏輯系統來處理,模糊集適合處理處理語言變數,以及複雜的非線性系統。

### 3.2 模糊系統建置

模糊系統的基本架構(如圖三)所示,其中主要的功能模組包括:(1)模糊化(Fuzzifier)(2)模糊規則庫(Fuzzy Rules)(3)模糊推理(Fuzzy Inference)(4)去模糊化(Defuzzier)

步驟一:Fuzzifer 輸入函數 BMI,活動量,也就是生成一個 type 1 的歸屬函數(membership function)模糊集合可以表示為公式(6),其中  $\mu_A(x)$  值域範圍為區間[0,1]。

$$A = \int_{x \in X} \mu_A(x) / x \quad (6)$$

我們將 BMI 分為 low、standard、over 三個區間對應的歸屬度函數(如圖五)分別為公式(7)(8)(9)。

$$f_{\text{BMI-low}}(x) = \begin{cases} 1 & x < 17 \\ (x - 17) / 4 & 17 < x < 21 \\ 0 & x > 21 \end{cases} \quad (7)$$

$$f_{\text{BMI-over}}^{(x)} = \begin{cases} 0 & x < 21 \\ (x - 21)/4 & 21 < x < 25 \\ 1 & x > 25 \end{cases} \quad (8)$$

$$f_{\text{BMI-stand}}^{(x)} = \begin{cases} 0 & x < 17 \\ (x - 17)/4 & 17 < x < 21 \\ 1 & x = 21 \\ (25 - x)/4 & 21 < x < 25 \\ 0 & x > 25 \end{cases} \quad (9)$$

在活動量部份,本計畫試想讓使用者輸入 0~10 之間的值來取代原來的臥病在床、輕度工作、標準工作、以及重度工作,使其更加有彈性,在活動量的概念共四個歸屬函數,預設的範圍是介於 0~10 之間,WORK-bed 的歸屬函數為 [0,0,3],WORK-low 的歸屬函數為 [0,3,6],WORK-stand 的歸屬函數為 [3,6,9],WORK-over 的歸屬函數為 [6,9,10,10](如圖六)。

步驟二:基於規則的推理我們的系統採用 Mamdani 模糊規則即

$$R^{(j)} : \text{IF } x_1 \text{ is } A_i^j \text{ and } \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_n^j \\ \text{Then } y \text{ is } B^j$$

前提一(premise) 1 :  $x$  is  $A'$

前提二(premise) 2 : If  $x$  is  $A$ , then  $y$  is  $B$

結論 :  $y$  is  $B'$

將以上推理表示為公式(10)

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in A'} [\mu_{A'}(x) * \mu_{A \rightarrow B}(x, y)] \quad (10)$$

其中關於  $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$  Mamdani 和 Larsen 分別提出極小和乘積的隱含運算

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) \triangleq \min[\mu_A(x), \mu_B(y)] \quad (11)$$

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) \triangleq [\mu_A(x) \cdot \mu_B(y)] \quad (12)$$

以上是對於單點(singleton)模糊化系統的操作,對於非單點模糊化(nonsingleton),如下:

輸入模糊集合  $\mu_{A'}(x')$  是非單點模糊器,即:

$$X = x' \text{ 時, } \mu_{A'}(x') = 1; X \neq x', \mu_{A'}(x') \neq 0$$

隨  $x$  的變化(偏離  $x'$ ),逐漸減小。考慮  $x$  為向量,對於第  $l$  條規則,  $\mu_{A_x}$  模糊的歸屬度可寫成:

$$\mu_{A_x}(x) = \mu_{A_{x_1}}(x_1) * \dots * \mu_{A_{x_p}}(x_p) \quad (13)$$

簡寫成:

$$\mu_{A_x}(x) = \mu_{x_1}(x_1) * \dots * \mu_{x_p}(x_p) \quad (14)$$

$$\mu_B(y) = \sup_{x \in X} \left[ \mu_{x_1}(x_1) * \dots * \mu_{x_p}(x) \right. \\ \left. * \mu'_{A_1}(x_1) * \dots * \mu'_{A_2}(x_p) \right] \\ * \mu'_{G_1} \quad (15)$$

模糊規則的產生是專家經驗,即我們諮詢的營養師的意見。有了輸入模糊集,模糊規則後,我們就可以進行模糊推理。模糊推理是模糊系統的核心,它藉由近似推理或模糊推理的進行,來模擬人類的思考決策模式,以達到解決問題的目的。

步驟三:Defuzzier:推理之後得到的是模糊集合,還要經過去模糊化才能得到清晰集,該系統採用重心法去解模糊。

$$y^* = \frac{\int_Y \mu_C(y) \cdot y dy}{\int_Y \mu_C(y) dy} \quad (16)$$

將患者資訊的相關參數模糊化後,以營養專家的建議為模糊規則,進行模糊推理及去模糊化,輸出值就是考慮到個體差異的患者的每日營養素合理需求量。

### 3.3 食譜本體及 JENA 推理

由於中華民國糖尿病衛教學會出版之各地小吃資料為小吃的三大營養素與熱量,因此本計畫之食物知識本體(如圖七):在第二層的分類層時,會分為好幾類,使用行政院衛生署所分的十八大類[2]如:醃制品類、調味料以及加工品類等,而第二層的分類會有四個屬性:蛋白質(單位:公克)、脂肪(單位:公克)、醣類(即碳水化合物,單位:公克)、以及熱量(單位:大卡)的四個屬性,在第三層的部份則是在中華民國糖尿病衛教學會所收集的各地小吃所附上之食材資料所整理而成的,最後上述所說之小吃名稱扮演實例的角色,在各地小吃中的食物是由多種類別的食材所組成的,所以食物實例會存在多重繼承的關係。每項食物實例會有幾個屬性值,包括三大營養素烹調方式等。

JENA 規則推論引擎[19]:在 JENA 推論支持檔中有提到, JENA 的規則格式大致上是如

何的，舉例來說我們現在有一個規則，[rule1: (?a eg:p ?b) (?b eg:p ?c)-> (?a eg:p ?c)]，這個規則的意思是，規則一，在第一個括弧中是表示a實例與b實例有一個eg:p的關係，在第二個括弧中是表示b實例與c實例有一個eg:p的關係，兩個括弧在一起就是and的關係，然而”->”則是JENA規則中的推論的意思，如果以上兩個條件皆成立的話，那後面的描述也會成立，所以會產生一個推論結果a實例與c實例有一個eg:p的關係。透過JENA推論規則，我們則可以找到許多先前未知關係與關聯，JENA規則與OWL本體，他們所扮演的角色相對關係，應該是知識本體與知識邏輯的關係。在此飲食知識本體中，病人實例為了要使用JENA規則來判定是否此項食物適合使用者食用，所以在病人實例部分我們需要病人資訊以及偏好之食物值，有了上述屬性，我們才得以透過系統中的模糊邏輯推論出患者一天所需要的熱量值，然後再透過JENA規則，將食物與病人做規則的推論，推論出所有的食物有哪些食物是適合患者，哪些食物是不適合患者的。此架構是符合營養師所述，對於食物實例與患者資訊可以充份應用的本體架構。

### 3.4 類背包演算法

本研究擬使用類背包問題演算法，借由背包問題的概念延伸出適合用於飲食推薦系統上的類背包問題解法，本概念是將Branch-and-Bound Strategy背包的演算法的概念將其更改為更貼近系統所使用者方法，Branch-and-Bound Strategy背包演算法中，只有一個背包所能容納的W值，但在此系統中，我們設想為一組向量值 $w = \{W_1, W_2, W_3, W_4\}$ ，其中各代表由模糊邏輯所計算出來的各餐總熱量值之醣類、脂肪、蛋白質所佔的比例之熱量以及本身的總熱量值，P值則代表讓食物經由JENA規則所推論出來是否適合於使用者，與使用者自身的偏好值所加總的值。每個背包為其中一餐的最佳組合，因此會產生一個 $\lambda$ 值來控制與本餐與預定目標之熱量值的差異。

### 3.5 TOPSIS 演算法

通過前序步驟，我們推算出符合三大營養素需求的每餐的飲食組合，然而真實的食材情況複雜得多，比如說同樣的食材，由於烹飪方式不同，配料不同，對糖尿病患者的適用度就不一樣。同理三大營養素含量相同的食譜，由

於食材不同（例如高纖維食物就適合糖尿患者）。所以僅用演算法找出符合三大營養素（糖類，脂肪，蛋白質）需求量的小吃組合給糖尿病患者是不夠的。還應結合TOPSIS演算法對選出備選小吃進行排序判決，以達到更科學推薦的目的。在諮詢營養師後，我們知道糖尿病患者不適合吃炸的食品，因為熱量太高；糖尿病患者也不適合吃含膽固醇量太高的食物，如肥豬肉、豬油、牛油、奶油、動物內臟、豬腦等。因患者體內的糖分代謝紊亂時，必然會引起脂質代謝異常，所以，許多糖尿病患者都合併有高血脂症。同樣動物內臟對糖尿病及併發症都是不宜的，因此本計畫中TOPSIS的備選方案就是經過前序步驟推薦出食譜組合，TOPSIS判決標準包括：烹飪方式，是否含有脂肪量、膽固醇含量、纖維含量、烹調方式，這四個標準其中脂肪量、膽固醇含量、烹調方式是成本標準而纖維含量為效益標準，我們將烹飪方式分為3個層次。依據以上參數我們列出TOPSIS判決架構(如表2)。

TOPSIS 計算程序。求解步驟如下[16]:

步驟一：建構原始資料之決策矩陣，n 個評估屬性與 m 個可行方案。

步驟二：將原始資料進行正規化。設  $D_{ij}$  為正規化後決策矩陣 D 之元素。正規化其目的在於求取各比率間單位的一致性與可比較性，以避免評估屬性間的不一致所造成的不可比的問題。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}$$

$$i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,n \quad (17)$$

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (18)$$

步驟三：計算加權後正規化評估值。由於不同的標準在判決過程中的重要性不同，所以分配的加權值不一樣。

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad i = 1,2 \dots, m; j = 1,2, \dots, n \quad (19)$$

( $W_j$  為第 j 標準的權重值)

步驟四：尋找正理想解( $A^+$ )與負理想解( $A^-$ )。

$$\begin{aligned} A^* &= \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_j^*, \dots, v_n^*\} \\ &= \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} A^- &= \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\} \\ &= \left\{ \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J_1 \right), \left( \max_i v_{ij} \mid j \in J_2 \right) \mid i = 1, \dots, m \right\} \end{aligned} \quad (21)$$

( $J_1$ 為效益標準的集合。 $J_2$ 為成本標準的集合。)

步驟五：計算各評估屬性對於正理想解( $S^*$ )與負理想解( $S^-$ )的歐式距離。

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (22)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

第六步驟：計算各個可行方案與正負理想解的相對接近程度。

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

$0 \leq C_i^* \leq 1$  當  $C_i^*$  當值愈接近1, 方案與理想解  $A^*$  愈接近。

我們利用 TOPSIS 算法改進了前序驟僅能找出符合三大營養素的需求量的飲食組合。本專案中採納 TOPSIS 算法的優點是能對已推薦的飲食組合進行進一步的判決。模糊系統，飲食本體及 Jena 部分是針對用戶資訊部分的“個性化推薦”，而 TOP-SIS 部分是針對食譜本身（包括食材，烹飪方式等）的進一步判決，以求更加科學地推薦飲食。我們會請台中醫院專家對系統進行評估，並會根據評估結果微調參數或比例。

## 4. 初步實驗

本系統使用 Intel(R) Core(TM) i5-2430M CPU @ 2.40GHz，記憶體為 8GB，作業系統為 WINDOWS 7，JDK 版本為 1.7.0，JENA 版本為 2.6.3 作為環境。初步實驗部份我們以身高 170、體重 60、活動量 6、無腎功能疾病、無高血壓及無膽固醇患者為例(如圖四)。圖四顯示 BMI

為 20.76，因此我們可以從模糊邏輯算出該患者每公斤所需要的熱量為 30.38，也就是說該患者每天所需要的熱量為 1822.8 大卡，再透過 JENA 推薦器與類背包演算法得出我們的建議食品組合。

從這裡我們可以看出第一階段推薦出來的食品一共有八項(如表3)，但對於患者來說這八項食物內並還未考量到烹調方式等其他變量，例如蚵仔粿的烹調方式就是炸的，而對於糖尿病患者而言油炸的食物應該少吃。因此，我們將這八項食品組合透過 TOPSIS 演算法做第二次篩選，而之後我們得到理想解相對接近度為：0.6419、0.6419、0.6462、0.5194、0.3537、0.1180、0、0.5753，所以得出最推薦的食品為第三項食品組合：豬血湯、大麵羹、烤玉米，最不推薦的食物組合為第七項食品組合：蚵仔粿、刈包、銅鑼燒，造成這個結果顯示的原因是由於在第七組合中含有油炸、多脂的成分過多，而反觀第三項組合中玉米含有高纖的對糖尿病患者有一的成分，故篩選出此結果。

## 5. 結論與建議

一般糖尿病患者推薦系統，透過系統能幫助計算患者的一天所需的熱量，與三大營養素的分配，給予患者參考，並提供患者各種食材的營養素的分配比例。但這些資訊對於患者來說是不太足夠的，因為對於外食族來說在外飲食時並不會告訴患者，患者所食用的食物，是使用哪些食材，與那些食材的量各為多少，且由於外食的烹調方式、食材內是否含不適合糖尿病患者食用之食材等的不同，對糖尿病患者來說更需要小心控制對患者自身的健康有害的食物。

在醫療方面，期望本系統能更進一步減少糖尿病患者就醫時，所耗費的醫療資源，而對於各地小吃上的資料可以透過本體的方式更加有結構性的儲存與管理，對於往後的飲食醫學與研究上所能省下更多的時間。而最終希望本系統，能達到患者在家即可取得整天所需要的飲食規劃。從而省去往反醫院的時間，能更有效率的管理自己的身體狀態。在實驗中，已可將使用者之身體資訊透過模糊邏輯與 JENA 規則推論之結果借由類背包演算法將其組合並透過 TOPSIS 推薦給予使用者做參考。

未來工作：由於實驗中還未加入使用者之飲食偏好，因此未來希望讓使用者能夠輸入多餐與自行分配每餐的比例。未來希望與營養專

家模擬的使用者偏好，進而使此系統推薦出適合於使用者之三餐，並擴大本體的數據庫，我本系統的更貼近使用者偏好。

## 致謝

本論文感謝國科會計畫編號：NCS 102-2221-E-324-039-的支持，特此申謝。

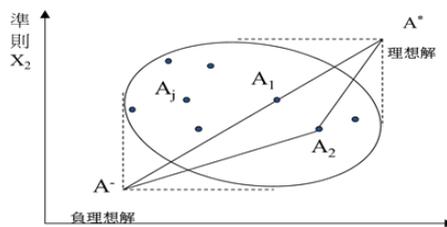
## 參考文獻

- [1] 行政院衛生署 - 主要死因統計, <http://www.doh.gov.tw/statistic/eBAS/> 生命統計/主要死因統計/主要死因統計.xls
- [2] 行政院衛生署 - 食品成份表, <http://www.doh.gov.tw/FoodAnalysis/ingredients.htm>
- [3] 許惠恒, 臺灣小吃營養大解析北臺灣篇, 中華民國糖尿病衛教學會, 2009。
- [4] 許惠恒, 臺灣小吃營養大解析中臺灣篇, 中華民國糖尿病衛教學會, 2010。
- [5] 許惠恒, 臺灣小吃營養大解析南臺灣篇, 中華民國糖尿病衛教學會, 2011。
- [6] 世界衛生組織, <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs312/en/index.html>
- [7] American Diabetes Association. Nutrition recommendations and principles for people with diabetes mellitus. *Diabetes Care*, 1997, 20(Suppl):14.
- [8] Bellman, R. E., Zadeh, L. A., "Decision-making in a fuzzy environment," *Management Science*, vol. 17 no. 4, December 1970, pp. 141-164.
- [9] Chern, M.S. and Jan, R.H., "Reliability Optimization Problems with Multiple Constraints," *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. R-35, No. 4, pp. 431-436, 1986.
- [10] Chen, C.T., "Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 114, no. 1, August 2000, pp. 1 - 9.
- [11] Chamodrakas, I., Martakos, D., "A utility-based fuzzy TOPSIS method for energy efficient network selection in heterogeneous wireless networks," *Applied Soft Computing archive*, vol. 11 no. 4, June, 2011, pp. 3734-3743.
- [12] Deng, H., Yeh, C.H., Willis, R.J., "Inter-company comparison using molded TOPSIS with objective weights," *Computers & Operations Research*, 2000, pp.963-973.
- [13] Fonseca, F.T., Egenhofer, M.J., Agouris, P. "Using Ontologies for Integrated Geographic Information systems," *Transactions in GIS*, 2002, 6 (3), pp. 231257
- [14] Freyne, J., Berkovsky, S., "Intelligent food planning:personalized recipe recommendation." *In IUI '10:Proceeding of the 14th international conference onIntelligent user interfaces*, pp. 321-324, New York, NY, USA, 2010.ACM.11.
- [15] Gorsik, J., Paquete, L., and Pedrosa, F., "Greedy algorithms for a class of knapsack problems with binary weights," *Computer & Operations Research*, Vol. 39, No. 3, pp. 498-511,2012.
- [16] Hwang, C.L., Yoon, K., "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications : a state-of-the-art survey," *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, vol. 186, 1981.
- [17] Hong, J. H., "Does a professor's reputation affect course selection?," *Distributed by ERIC Clearinghouse*, 1988.
- [18] JENA, <http://jena.sourceforge.net/>
- [19] JENA- 推 論 支 援 , <http://jena.sourceforge.net/inference/index.html>
- [20] Kumar, R., Singh, P.K., "Assessing solution quality of biobjective 0-1 knapsack problem using evolutionary and heuristic algorithms," *Applied Soft Computing*, Vol. 10, No.3, pp. 711-718,2010.
- [21] Kellerer, H., Pferschy, U., Pisinger, D., "Knapsack problems," *Springer*, 2004.
- [22] Lee, C.S. Wang, M.H. and Hagraas, H., "A type-2 fuzzy ontology and its application to personal diabetic-diet recommendation," *(SCI) IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 18, no. 2, pp. 374-395, Apr. 2010.
- [23] Li, H.C., Ko, W.M., "Automated Food Ontology Construction Mechanism for Diabetes Diet Care," *Machine Learning and Cybernetics*, Vol. 5 , 2007, pp.2953-2958
- [24] Lee, R.C.T., Tseng, S.S., Chang, R.C., Tsai, Y.T., "Introduction to the Design and Analysis of Algorithms A Strategic Approach," *McGraw Hill 旗標出版社*, pp. 157-215, 2005.
- [25] Lee, R.C.T., Tseng, S.S., Chang, R.C., Tsai, Y.T., "Introduction to the Design and Analysis of Algorithms A Strategic Approach," *McGraw Hill 旗標出版社*, pp. 2-15, 2005.
- [26] Liang, G. S., "Fuzzy MCDM based on ideal and anti-ideal concepts," *European Journal of Operational Research* vol. 112, no. 3, 1 February 1999, pp. 682-691.
- [27] Lopez, M.F., Perez, A.G., Natalia Juristo, "Methodology: from Ontological Art towards Ontological Engineering," *AAAI Technical Report*, 1997
- [28] McBride, B. "Jena: a semantic Web toolkit," *IEEE Computer Society*, 2002, Vol. 6, No. 6, pp. 55-59
- [29] Milliron, C.V., "Exploring millennial student values and societal trends," *Issues in Accounting Education*, 2008, vol. 23, No. 3, pp. 405-419.
- [30] Michel, S., Perrot, N., Vanderbeck, F., "Knapsack problems with setups," *European Journal of Operational Research*, Vol. 196, No.

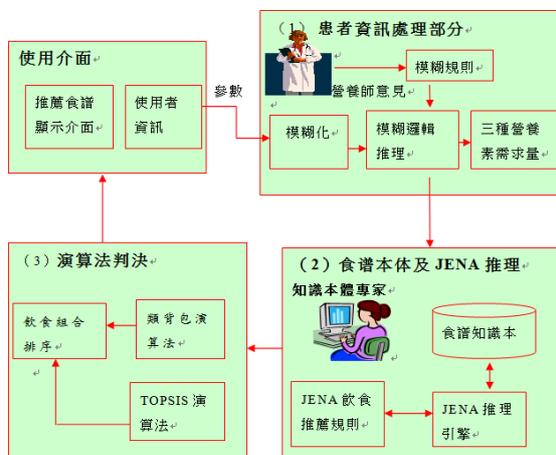
- 3, pp. 909-918, 2009.
- [31] Negi, D.S., "Fuzzy analysis and optimization," *Published by UMI University Microfilms International*, Ann Arbor, 1989.
- [32] Phanich, M., Pholkul, P., Phimoltare, P., "Food Recommendation System Using Clustering Analysis for Diabetic Patients." *Information Science and Applications (ICISA)*, 2010.
- [33] Ross, K.W. and Tsang, H.K., "The Stochastic Knapsack Problem," *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 37, No. 7, pp. 740-747, 1989.
- [34] Svensson, M., Hook, K., Coster, R., "Designing and Evaluating Kalas: A Social Navigation System for Food Recipes," *ACM Transactions on Computer-Human Interactions*, 2005, vol. 12, no. 3, pp. 374-400
- [35] Sappelli, M., "An adaptive recipe

recommendation system for people with Diabetes type 2." *Master thesis Radboud University*, 2010.

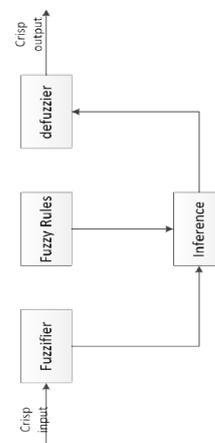
- [36] Sevastjanov, P., Tikhonenko, A., "A direct interval extension of TOPSIS method," *Parallel Processing and Applied Mathematics Lecture Notes in Computer Science*, vol. 7204, 2012, pp 504-512.
- [37] Tsaur, R.C., "Decision risk analysis for an interval TOPSIS method," *Mathematics and Computation*, vol. 218 no. 8, 2011, pp.4295-4304.
- [38] Wang, Y. M., Taha, M. S. Elhag., "Fuzzy TOPSIS method based on alpha level sets with an application to bridge risk assessment, School of Mechanical," *Expert Systems with Applications*, vol. 31, 2006, pp.309-319.



圖一 理想解與負理想解概念示意圖



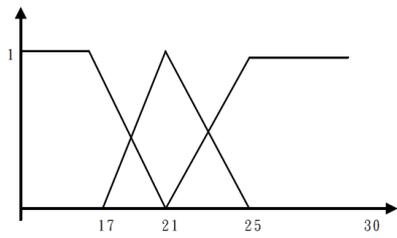
圖二 糖尿病飲食推薦系統初步架構圖



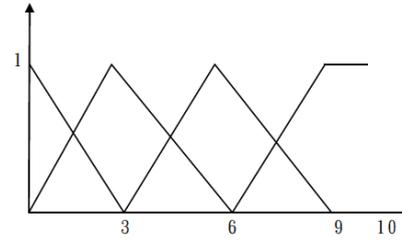
圖三 模糊邏輯系統結構圖

Item	Protein	Fat	Carbohydrates	Calories	Weight
1	21.8	21.1	94.3	609	1
2	22	23.1	82.5	625	1
3	23.2	22.3	86.7	640	1
4	23.2	21.5	95.9	674	1
5	22.8	22.7	81.1	608	1
6	26	23.3	96.5	687	1
7	21.9	20	89	616	1
8	24.9	19.7	88.6	596	0.9999999999999999
<b>Food</b>	<b>Protein</b>	<b>Fat</b>	<b>Carbohydrates</b>	<b>Calories</b>	<b>RNA</b>
平均	19.6	22.4	15.3	134.0	T
標準偏差	2.2	0.7	78.9	135.0	T

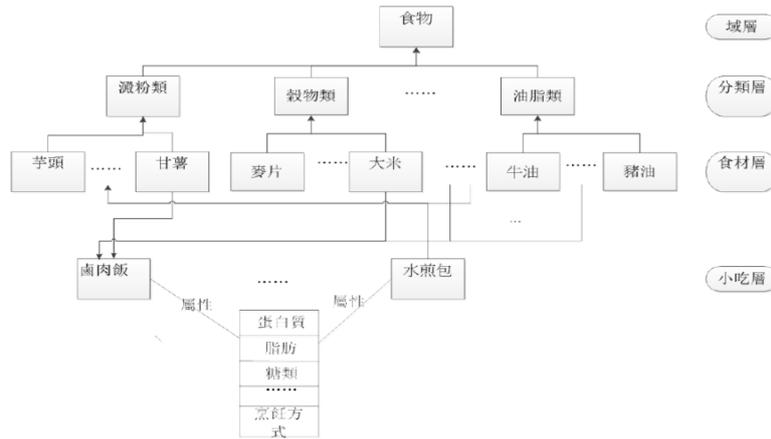
圖四 第一階段食品推薦組合



圖五 BMI 歸屬度函數圖



圖六活動量歸屬度函數圖



圖七 食物本體初步雛形

表1 活動量與熱量需求對照

不活動	臥病在床不能運動者	每日需增加基礎代謝率30%的熱能
輕度工作者	大部分從事靜態或坐著的工作：如家庭主婦，辦公室工作人員，銷售人員	每日需增加基礎代謝率50%的熱能
適度工作者	從事機械操作，接待或站立活動較多的工作，如保姆護士，服務生	每日需增加基礎代謝率75%的熱能
重度工作者	從事農工，漁業，建築等重度使用體力的工作，如運動員，搬家人員	每日需增加基礎代謝率100%的熱能

表2 TOPSIS判決架構圖

標準	多脂	膽固醇含量	纖維含量	烹飪方式
備選食譜組合 1	評估值	評估值	評估值	評估值
備選食譜組合 2	評估值	評估值	評估值	評估值
備選食譜組合 3	評估值	評估值	評估值	評估值
備選食譜組合 4	評估值	評估值	評估值	評估值

表3 第一階段推薦的8種食物組合

1	羊肉羹	糖煮地瓜	
2	羊肉羹	烤地瓜	
3	豬血湯	大麵羹	烤玉米
4	豬血湯	三明治	大麵羹
5	甜碗粿	羊肉羹	
6	銅鑼燒	刈包	烤玉米
7	蚵仔粿	刈包	銅鑼燒
8	蚵仔粿	豬血湯	手工饅頭