以模糊物件導向方法模組不明確需求
FOOM: FUZZY OBJECT ORIENTED MODELING FOR IMPRECISE REQUIREMENTS

李允中　　薛念林　　黄為德
Jonathan Lee, Nien-Lin Xue, and Wei T. Huang

國立中央大學資訊工程研究所
Department of Computer Science and Information Engineering
National Central University
Chungli, Taiwan, R.O.C.

摘要

物件導向設計的方法愈來愈受歡迎，其中的原因之一是因為它設計的方法是站在人類的思考角度去模組設計。可是人類的思考方法及推理方式是相當模糊不清的，傳統的物件導向方法並沒有辦法去模組這種模糊不清的觀念，於是越來越多的學者開始探討模糊物件。但是大部分的研究只討論類別中的屬性和類別階級組織的模糊化。本篇論文針對傳統的物件導向設計中潛藏的模糊加以討論，並提出 FOOM 的方法將之模組 (model)。本篇論文將潛藏在傳統物件導向模組內的模糊分成四類：屬性、類別間的關係、類別階級組織 (class hierachy) 和多質性 (polymorphism)。分別用幾種不同的模糊 (fuzziness) 加以模組。

關鍵字：物件導向模組, 模糊包含、模糊函數、模糊推導, 多質性。

Abstraction

Object-oriented modeling methodology is more and more popular, one of the reasions is that OOM is a way of thinking about problems using models organized around real-world concepts. However, human's thinking and reasoning is fuzzy that conventional OOM has no idea to model the concepts, so some researches focus on the fuzzy object which is the way can model natual language. Most researches only discuss the fuzziness in attributes and class hierachy. In this paper, we devote to the fuzziness in conventional OOM, propose FOOM to model the fuzziness.

We discuss four fuzziness in OOM: attributes (includes the parameters in operation), relationships between classes, class hierachy and polymorphism. Use different fuzziness to model it respectively: linguistic fuzziness, fuzzy function, perceptual fuzziness and propositional fuzziness.

Keywords: object-oriented modeling, fuzzy inclusion, fuzzy function, fuzzy implication, polymorphism.

1. 緒論

最近物件導向模組 (Object Oriented Modeling, OOM) 的發展有一部分朝向用模糊邏輯 (fuzzy set) 來獲得一些模糊 (vague) 且不正確 (imprecise) 的非正規需求 (informal requirement)。Rumbaugh 等 [10] 已經指出 OOM 是一種以真實生活觀念 (real-world concepts) 組織的模組來思考問題的，而真實生活觀念通常以自然語言 (natural language) 來表示。而 Zadeh 在 [13] 中指出幾乎所有有關或在自然語言中的觀念 (concept) 都是近乎模糊不清 (fuzzy) 的。有很多研究者，如 Dubois [2] 和 Lano [7]，已經著手研究類別 (class) 有模糊成員值 (fuzzy membership value) 的方法是表現真實生活觀念的一個自然方法。

結果，一些研究者相繼的發表他們成功的整合模糊物件和物件導向模組 (OOM) 的相關研究 [2, 3, 4, 5, 6, 7]。儘管如此，沒有研究是致力於解決物件導向的技術的非正規需求，他們的研究不是類別成員 (class membership) 的公式化 (formulation) [例如 2, 4]，就是像在 [5, 11] 中一樣，致力於雛形化知識 (prototypical knowledge) 的表示。

在 FOOM 中，好幾種模糊被指出：語意上的模糊 (linguistic fuzziness)，關係上的模糊 (fuzziness associated with relationships)，感官上的模糊 (perceptual fuzziness)，命提式的模糊 (propositional fuzziness)。

- 語意上的模糊：類別上的屬性的值通常是模糊不清的，如一個人的身高我們通常會以"蠻高的"來描述，而不是明確的指出他是 190 公分。

- 關係上的模糊：由於我們將類別當作模糊集合，因此類別之間的關係允許模糊的描述，譬如說在富有人與豪華車之間的關係我們可以說"愈富有的人擁有愈豪華的車"。
- 感官上的模糊：感官上的模糊是指一個物件（或類別）對一類別的相容度(compatibility)，在物件導向的觀念中就是 AKO degree 與 ISA degree 允許有程度的差別。
- 命提式的模糊：多質性 (Polymorphism) 是一個在 OOM 中很重要的特性。在 FOOM 中提出利用可能性測量 (possibility measure) 來做方法 (method) 的選擇。

接下來我們將分別在第二節各小節中描述這四種模糊，第三節簡述相關研究。第四節做個總結及描述今後的研究方向。

2. 模糊物件導向方法

在物件導向程式設計中，以類別來模組眞實生活觀念，由於類別本身是非常抽象的，所以在選定類別時會發現許多類別的觀念是非常模糊的，沒有明確的分界。這樣的不明確反應在類別中屬性 (attribute) 與其運算 (operation) 的不明確，像這樣的類別我們稱為模糊類別 (fuzzy class)。舉例來說，一個類別 *YoungMan* 是一個模糊類別，其屬性 *age* 的值為 "*young*"。

類別可看成是由物件所成的集合，FOOM 與傳統的物件導向設計有所不同；它允許物件屬於該類別的程度可以介於 0 與 1 之間，是傳統上的一般化，因為傳統上物件屬於類別的程度不是 0 就是 1，缺乏彈性且在現實生活中不合理。因此我們定義一個類別是由物件及其成員所屬程度而成的模糊集合 (fuzzy set)：

$$\{(ob_i, \mu_{class}(ob_i)) \mid i \in N\}$$

其中ob_i 表某一物件，$\mu_{class}(ob_i)$ 表此物件屬於此類別的程度 (degree)，其值介於 0 與 1 之間。由於類別可以有無限多的實例，所以這樣的模糊集合將會是一個無限集合，對於由類別所 instantciate 的物件其成員所屬程度皆看成 1。一個物件屬於某類別的成員程度的考慮及計算我們將在 2.3 小節考慮。

在接下來幾小節，我們將分別指出在物件導向分析設計中常見的幾種具有模糊語意的元件：屬性、類別間的 AKO 關係、類別與物件之間的 ISA 的關係、類別間的連接關係 (relation) 與多質性，我們介紹幾種不同的模糊來解決這些問題，以期能更正確的描述需求規格。

2.1 言語上的模糊 (Linguistic Fuzziness)

在傳統 OOM 中，類別的屬性形態 (type) 和運算的參數形態只限於明確值(crisp value)，無法表現類別的模糊觀念，例如一個類別 *YoungMan*，傳統的方法其屬性 *Age* 的範圍常常介於兩個明確值間，而現實生活應以 *young* 或 *old* (都是模糊集合) 來說明。在 FOOM 中，屬性與運算的參數都允許是模糊集合。

相對於明確集合，模糊集合是較一般性的 (general)，也就是說明確集合可以看作是一個所有成員程度值 (grade of member; μ)都等於 1 的特例，所以在 FOOM 中我們將所有的可測量屬性的值都用模糊集合來表示：

$$C.Att_i : \{(x, \mu_F(x)) \mid x{:}U(measure)\}$$

其中 x 就是測量變數 (measure) [12]，$U(measure)$ 表示 x 的 universe of discourse，F 是一個模糊集合。

屬性的形態 (type) 或範圍 (range) 可能是由幾個模糊用語 (fuzzy term) 所成的集合 (每個模糊用語都是一個模糊集合)，為了使屬性值成為一個模糊集合，我們用模糊聯集 (fuzzy union) 將之組合成一個模糊集合：

$$R(C.Att_i) = F_1 \cup F_2 \ldots\ldots \cup F_n$$

舉例來說：一個年青人 (*Teenager*) 的身高 (*height*) 可能是高 (*tall*)、普通 (average)、或矮 (short)：*Tall, Averagel* 和 *Short* 都是模糊集合，

$$Range(Teenager.height) = F_{TFS} = F_{Tall} \cup F_{General} \cup F_{Scrawny}$$

以 [圖1] 來表示此式：(聯集是取較大值，也就是圖中較粗的線)

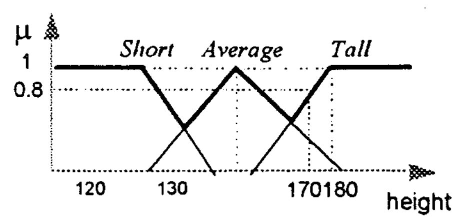


圖1 屬性 height 的形態(或範圍)

當我們描述一個物件的屬性的範圍時，可看成是一個命題（proposition），用可能性分配 (possibility distribution) 來表示。例如：約翰 (object) 的身高 (attribute) 是高 (fuzzy set)的，可表示成：

$$P_{height(John)} = F_{Tall}$$

其中 $p_{height(John)}$ 表示約翰身高的可能性分配 (possibility distribution)，*Tall* 是一模糊集合 (Fuzzy Set)，在此被當成是一種彈性限制 (elastic constrain)，限制約翰的身高。

在 FOOM 中，我們將所有的屬性利用 cartesian product 結合成一個模糊集合。假設類別 *Teenager* 的其他的屬性是：年齡 (age)、重量 (weight)，則：

$$Teenager.Attr = p_{height} \times p_{age} \times p_{weight}$$

其中 p_X 是該屬性的可能性分配，每一個都對應到一個模糊集合 (fuzzy set)。

將類別用模糊集合來表示的好處是可以用感官模糊 (perceptual fuzziness) 直接來計算類別之間的 AKO degree，類別之間的連結關係 (association relationship) 也可以由模糊函數 (fuzzy function) 來描述。

2.2 在關係上的的模糊

數量 (Cardinality) 是類別間一個很重要的關係，它指出在一個關係連接下 (association relationship) 一個類別的實例 (instance) 與多少個實例相關 (一對多、一對一、多對一、多對多)。另一個連結關係的考量是必須與否 (optional / mandatory) 的問題，為了能捕捉這些訊息 (capture the information)，我們用數學的關係 (relation) (也可能是函式 (function) 來模組 (model) 這些關係 [8, 9]。

在 FOOM，類別是以模糊集合表示，而非明確集合，因此類別間更具彈性的關係 (relationship) 可藉此描述。舉例來說：一個富有人 (richman) 擁有 (owns) 豪華車 (luxury car)，以函數 f_{own} 來表示此一關係，f_{own} 的定義域 (domain) 是由 $(x_i, \mu_{RichMan}(x_i))$ 所成的集合，假設一個富有程度等於 1. ($\mu_{RichMan}(x_i) = 1$) 的人擁有豪華程度為 1 ($\mu_{LuxCar}(y_i) = 1$) 的車，那麼一個富有程度為 0.2 的人與豪華車的關係如何呢？接下來我們先說明模糊限制函數 (fuzzily constrained functions)、模糊一對一函數 (fuzzy injection function)、模糊映成函數 (fuzzy surjection function) 的定義[1]，然後用這些觀念來探討類別之間的連接關係。

• 如果，而且只有當下式成立時，f 被稱為有一個模糊定義域 A 和模糊值域 B

$$\forall\, x \in X,\ \mu_B(f(x)) \geq \mu_A(x)$$

意指 x 愈屬於 A，則 $f(x)$ 愈屬於 B

• 如果，而且只有當下式成立時，f 被成為模糊一對一函數：

$$\forall\, (x_1,x_2) \in X^2, f(x_1,x_2) \in Y^2\ \mu_P(x_1,x_2) \geq \mu_Q(f(x_1,x_2))$$

在式中的 P 是在 X^2 上模糊相近關係 (fuzzy proximity relation)，而 Q 是在 Y^2 上的模糊相似關係。模糊一對一函式表示"所對應值的愈相近（相似），則其原始的值愈相似"。

• 如果，而且只有當下式成立時，f 被成為模糊映成函數:

$$\forall\, y \in Y, \exists\, x \in X,\ \mu_Q(y, f(x)) \geq \mu_B(y)$$

意指 y 屬於 B 的程度愈高，則存在的 x 其 $f(x)$ 與 y 就愈相近。考慮是在明確集合的情形：對於所有的 y (屬於 B 的程度值為 1)，都會存在 x，使得 $\mu_Q(y, f(x)) = 1$，即表示 $y = f(x)$，這正是在明確集合時映成函數的特性，再次說明模糊映成函數是較一般性的。

首先，我們採用在 [8, 9] 中提出的方法將多對多的關係轉成一對多 (和多對一) 的關係。其二，將一對多的關係用關係 (relation) 來表示。

第三，多對一的關係與需要與否的考量一起討論：

• 如果關係中一邊是 (必要, 多) (mandatory, many) 或 (可有可無, 多)(optional, many)，另一邊是 (可有可無, 一)，因為在FOOM 中類別是模糊集合，所以引用模糊函數 (fuzzy function)，其有更一般性的解釋。舉例來說，模糊完全函數：

$$\forall\, x \in RichMan, \exists\, y \in LuxCar, \text{ such that } y = f(x) \text{ and}$$

$$\mu_{LuxCar}(f_{own}(x)) \geq \mu_{RichMan}(x)$$

它代表的意義是：愈有錢的富有人，其其擁有的車愈豪華。

• 如果關係中一邊是 (必要, 多) 或 (可有可無, 多)，另一邊是 (必要, 一)，它被表示成模糊完全映成 (total fuzzy surjection) 與模糊部分映成 (patial fuzzy surjection)。考慮這個模糊部分映成：

$$\forall\, y \in LuxCar, \exists\, x \in RichMan,\ \mu_Q(y, f_{own}(x)) \geq \mu_{LuxCar}(y)$$

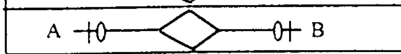
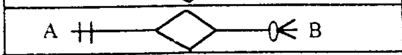
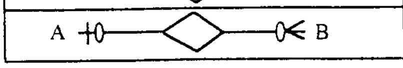
意指對於任何豪華車，其豪華的程度愈高，則存在一個富有人擁有的豪華車與此車的相

似程度愈高，若將之限制在明確集合中，則豪華程度為1，存在的富人擁有的車與此車的完全相似，也就是說每輛豪華車都對應有富人擁有，就是在明確集合中映成函數的定義。

最後，一個一對一的關係通常被考慮成一對一函數，下面是一個模糊一對一函數的例子：

$$\forall\, x_1,x_2 \in RichMan,\ \mu_P(x_1,x_2) \geq \mu_Q(f_{own}(x_1,x_2))$$

意指車子愈相似，則其擁有者的相似程度越高。將其限制到明確集合時，相同的車子會有相同的車主(一輛車只會有一個車主)，就是明確集合一對一函式的意義。
[表一] 描述類別之間的關係與其對應的數學關係或函式。

Relationship	Forward Direction (From A to B)	Inverse Direction (From B to A)
	total bijection	total bijection
	total injection	partial bijection
	partial injection	partial injection
	relation	total surjection
	relation	partial surjection
	relation	total function
	relation	partial function

表一 類別間的關係與相對應的函數

2.3 感官上的模糊 (Perceptual Fuzziness)

感官上的模糊 (perceptual fuzziness) 是指人類對抽象物體 (abstract object) 在心智或心理上 (mental) 的現象 (phenomena)，也就是表示對一物件與類別或類別與類別的相容度(compatibility)。本主要探討在物件導向設計中，類別階級組織 (class hierachy) 的 AKO 和 ISA 的關係。FOOM 與傳統的差別是；AKO 與 ISA 是允許有程度的。

在傳統的 OOM 中，一個類別的實例 (instance) 也同時是此類別的上代類別 (ancestor class) 的實例 [10]，以 modus ponens 來說明：

Premise：x 屬於類別 B
Implication：x 屬於類別 $B \Rightarrow x$ 屬於類別 A

Clusion：x 屬於類別 A
(註：x 是類別 B 的實例。類別 A 是類別 B 的上代類別)

這說明類別階級組織 (class hierachy) 間的關係可以用集合包含來說明：如果將類別看成集合，則子類別是父類別的子集合。也就是說對於推導 (implication) $p \Rightarrow q$，其中 p, q 是命題 (proposition)，若將命題用集合來表示、推導用包含 (inclusion) 來解釋，就可將之解釋為 $q \supseteq p$。

這樣的推導在 FOOM 中成了一個特例，因為 FOOM 允許類別階級組織上有程度 (degree)差別，也就是說，一個類別可以有程度的屬於另外的一個class。上一段的推導式子被一般化成為 $p \Rightarrow \pi\alpha\, q$，亦即"實例 x 屬於類別 A, 則 x 屬於類別 B 的程度為 $\pi\alpha$。我們在此稱 $\pi\alpha$ 為包含度 (degree of inclusion)，就是父類別包含子類別的度數，也就是 AKO degree。2.3.1 中討論AKO degree 的算法，在 2.3.2 中，相似於 AKO degree，我們討論 ISA degree 的算法。2.3.3 節中討論由此引申出來的推理 (reasoning)。

2.3.1 類別包含度 (Class Inclusion Degree)

在 AKO degree 的考量方面，許多相關研究都只有考慮類別的屬性 [2, 3, 4]，我們認為這是欠妥的，因為類別是由相似的屬性、運算和關係 (relationship) 所構成的 [10]。所以在 FOOM 中，對於兩個類別間的 AKO degree，我們考慮類別間屬性範圍與運算的參數範圍的包含度。在這一節一開始我們就用集合的關係來闡述子類別與父類別的關係，所以在此可用模糊包含 (fuzzy inclusion) 的觀念來說明有程度的 AKO。

以 $C_1.Att$ 與 $C_2.Op$ 分別表示類別的屬性範圍與運算上的參數範圍（都是模糊集合）。C_1 包含 C_2 的程度 $INC(C_1|C_2)$ 為：

$$INC(C_1|C_2) = g\,(I(C_1.Att|\ C_2.Att),\ I(C_1.Op|C_2.Op))$$

其中 I 為模糊包含 (fuzzy inclusion)，g 為一集合函數 (aggregation function)。Fuzzy inclusion 有很多種不同的計算方法，例如 Sanchez 以交集 (intersection) 與數量 (cardinality) 為考量的定義：

$$I(A|B) = ||A \cap B|| \;/\; ||B||$$

其中 $I(A|B)$ 表示 A 包含 B 的程度。當 $A \supseteq B$ 時，$I(A|B) = 1$。前面的 modus ponens 可一般化成：

Premise：x 屬於類別 B
Implication：x 屬於類別 $B \Rightarrow x$ 屬於類別 A 的程度是 $INC(A|B)$

Clusion：x 屬於類別 A 的程度是 $INC(A|B)$

2.3.2 類別 - 實例屬於度 (Class - Object Membership Degree)

一個物件屬於類別也會有程度區分，我們稱為 ISA degree，它的考量與算法與 AKO degree 相似：

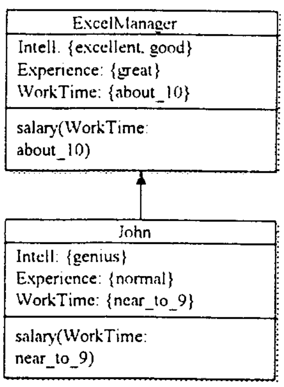
$$INC(C_1 \mid x) = g\,(I(C_1.Att|\ x.Att),\ I(C_1.Op|\ x.Op))$$

其中 x 表示一個物件。所以前面的 modus ponens 可在改成：

Premise：x 屬於類別 B 的程度是 $INC(B \mid x)$
Implication：x 屬於類別 $B \Rightarrow x$ 屬於類別 A

Clusion：x 屬於類別 A 的程度是 $INC(A|\ x)$

為了清楚的說明我們的做法，用下例來計算 ISA degree。考慮一個類別 *ExcelEmp* 及物件 *John* 的屬性及運算參數的範圍如下：



先用 fuzzy union 將 $F_{excellent}$ 與 F_{good} 做聯集 (第 2.1小節)：

$p_{Intelligence(ExcelEmp)} = F_{excellent} \cup F_{good} = F_{ex\_g} = \{(100, .7), (120, .8), (130, .9), (140, 0.8), (150, 0.7)\}$

ExcelEmp.Attr $= p_{Intelligence(ExcelEmp)} \times p_{Experiece(ExcelEmp)} \times p_{WorkTime(ExcelEmp)} = F_{ex\_g} \times F_{great} \times F_{about\_10} = \{$

$((100, 1, 8), .7), ((100, 1, 9), .7), (100, 1, 10), .7), (100, 1, 11), .7)$

....

....

ExcelEmp.Op $= F_{about\_10} = \{(8, .8), (9, .9), (10, 1), (11, .9)\}$

John.Attr $= p_{Intelligence(John)} \times p_{Experiece(John)} \times p_{WorkTime(John)} = F_{genius} \times F_{normal} \times F_{near\_to\_9} = \{$

$((100, 1, 8), .5), ((100, 1, 9), .5), (100, 1, 10), .5), (100, 1, 11), .5)$

....

....

ExcelEmp.Op $= F_{near\_to\_9} = \{(8, .9), (9, 1), (10, .9), (11, .8)\}$

$I(ExcelEmp.Attr|\ John.Attr) = ||\ ExcelEmp.Attr \cap John.Attr\ || \;/\; ||\ John.Attr\ || = 52.4 / 55.4 \cong 0.95$

$I(ExcelEmp.Op|\ John.Op) = ||\ ExcelEmp.Op \cap John.Attr\ || \;/\; ||\ John.Op\ || = 3.4 / 3.6 \cong 0.94$

$INC(ExcelEmp|John) = g(0{,}95,\ 0.94)$，如果我們的集合函數 (aggregation function) 用 *min*，則結果等於 0.94。可以看出 *John* 算得上是一位優秀員工。

2.3.3 推理 (Reasoning)

在本章一開始我們用 modus ponens 來解釋類別階級組織，每一個命題相對一個集合，而推導 (implication) 相對於集合的包含 (subset inclusion)，相同的方法可以用來做簡單的推理：若有三個命題 p, q, r，p 是 q 的子集合 (i.e. $p \Rightarrow q$)，q 是 r 的子集合 (i.e. $q \Rightarrow r$)，則 p 是 r 的子集合 (i.e. $p \Rightarrow r$)。Generalized modus ponens 討論較一般性的情形，推導可以有程度差別：如果 $p \Rightarrow \pi_\alpha\ q$ 而且 $q \Rightarrow \pi_\beta\ r$ 則推導出：$p \Rightarrow \pi_{\alpha \odot \beta}\ q$。

這樣的性質用到類別階級組織可以推導隔代之間類別的包含關係。如[圖2]，已知 $B \Rightarrow \pi_{AB} A$ 且 $D \Rightarrow \pi_{BD} B$，則可推導出 $D \Rightarrow \pi_{AD} A$，其中 $\pi_{AD} = \pi_{AB \otimes BD}$。也就是說，一個物件是

類別 D 的實例 (ISA = 1)，其屬於類別 A 的程度為 π_{AD}。

當物件對類別的屬於程度 (membership degree) 小於 1 時，該物件對於其上代類別的屬於度必須考慮該物件對於類別的屬於度。如[圖2]中，$INC(C|x) = \pi_{Cx}$，則 x 屬於類別 A 的程度 $INC(A|x) = \pi_{(AC \otimes Cx)}$。也就是說：

Premise：x 屬於類別 B 的程度是 π_{Cx}

Implication：x 屬於類別 $C \Rightarrow x$ 屬於類別 A 的程度是 π_{AC}

Clusion：x 屬於類別 A 的程度是 $\pi_{(AC \otimes Cx)}$

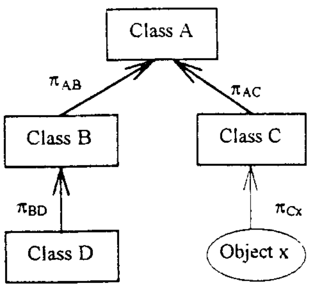


圖2 允許程度屬於的類別階級組織

2.4 命題式的模糊 (Propositional Fuzziness)

在物件導向設計中，相同的運算 (operation) 可能作用在不同的類別上。像這樣的運算稱為具有多質性; 也就是說，我們可以宣告方法 (method) 有相同的名字 (name)，至於哪一個會被呼叫選用則由他們的參數協定 (parameter protocol)：包含參數的個數、形態 (type)、和傳回值的形態來決定。將參數協定看作是一防衛狀態 (guard condition)，方法的選擇就是測試運算滿足哪一個防衛狀態，而我們可以用命題來描述防衛狀態。方法是實際上在類別內的運作。

由於傳統物件導向設計方法 (classic OOM) 的參數的形態是傳統的明確集合，所以多質性對於方法 (method) 的選擇 (selection of method) 較沒有彈性。在 FOOM 中，運算的參數與防衛狀態是允許模糊的，如此一來，方法的選擇更具彈性。以下舉銀行借貸系統的例子分別說明傳統 OOM 與 FOOM 對多質性的做法：

- 傳統 OOM：假設類別 *Manager*、*Technician*、*Worker* 是類別 *Customer* 的子類別 [圖3]，若有一個一般函數 (generic function) *loan*，其參數是 *salary*，其形態 (type)是整數，當顧客執行 *loan(salary: 45000)* 時，則類別 *Manager* 的 method 將會被選用而計算並傳回可借貸的金額。

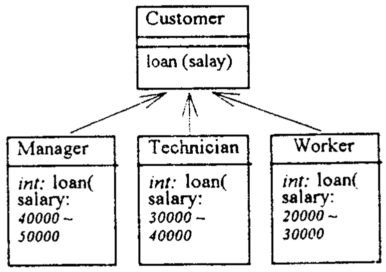


圖3 在傳統物件導向模組中的多質性

- FOOM：參數 salary 的形態允許是模糊的，如 [圖4]，我們允許呼叫 *loan(salary: 32000)* 或 *loan(salary: a little low)*，也就是說參數值可以是明確值 (crisp number) 或是模糊字眼 (fuzzy term)，利用 possibility measure 的方法其出與各 method 配合 (match) 的程度，[圖5] 的例子中，某顧客的薪水的是 32000，算出 $\pi_{medium}(32000) = 0.8$, $\pi_{high}(32000) = 0.2$, 利用正規化 (normalize) 算出此顧客的薪水 [14]：

$$loan(32000) = (0.8 \times Technician.loan(32000) + 0.2 \times Manager.loan(32000)) / (0.2 + 0.8)$$

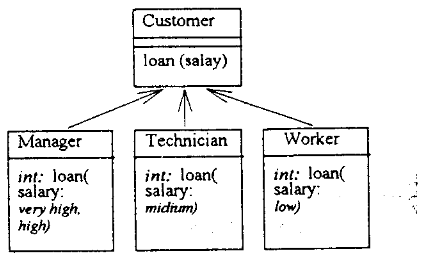


圖4 在 FOOM 的多質性

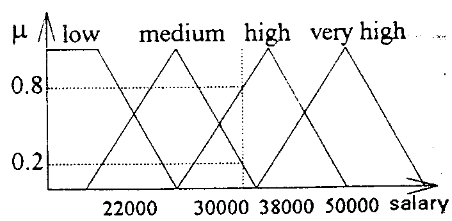


圖5 模糊集合low,medium,high,very high

3. 相關研究

在模糊邏輯及軟體工程等相關文獻中顯示，已經有一些研究學者成功地提出結合了模糊邏輯與物件導向模組 (Object-Oriented Modeling) 的方法。例如 [2, 3, 4, 5, 6, 7]。接下來，將對每一個研究工作做一個簡短的說明。並在[表二]作一個比較。

George 等人分別利用類別 (classes) 與物件 (objects) 的模糊值 (fuzzy value) 的範圍來計算包含程度 (degree of inclusion) 與成員程度 (degree of membership) [3]。要度量類別的成員，可藉由一公式化的規則來度量父類別與其子類別的屬性值之間的接近程度而得到。

Graham 的研究是著眼在利用 a-kind-of (AKO) 關係、一般化的 modus ponen 及解模糊 (defuzzification) 技術來推導出一些未知的屬性值 [4]。在他的研究中，有兩個方法來將物件的概念擴展成模糊物件 (fuzzy object)：(1) 屬性的值可以是模糊的，(2) AKO 是有程度性的。類別之間的 AKO 程度被假設在系統中是已知的，而未知的屬性值則可以利用a-kind-of (AKO) 關係、一般化的 modus ponen 及 解模糊 (defuzziness) 技術來推導出。

Lano 提出結合模糊推論(fuzzy reasoning)與物件導向表示法來處理真實世界的資訊 [7]，一個知識庫(knowledge base) 的結構是由類別階層 (class hierachy) 所組成，用來表示概念的種類 (concept categories)。每一個類別對應一個模糊集合 (fuzzy set)，其成員函數 (membership function) 是由該類別的近似規則 (proximity metric) 習的過程是將知識庫與新的範例轉換成一個新的知識庫。

在 [2]中，Dubois 與 Prade 主張類別可絕對由一些屬性項來描述，這些屬性項被所允許的值的範圍與典型值的範圍所區隔。計算父類別 C1 與子類別 C2 之間的包含程度可透過比較 C1 的典型值的範圍與 C2的典型值的範圍而得到。他們提出了三種形態的繼承：典型繼承 (typical inheritance)，一般繼承(normal inheritance)及不規則繼承(atypical inheritance)。

在 [6] 的研究中，是著重在利用一般化的模糊集(fuzzy sets)符號來表示不確定資訊 (uncertain information)。Gyseghem 等人使用模糊集來表示模糊的資訊，以及使用一般化模糊集來表達不確定性(uncertainty)。他們使用一個名稱為Fuzzy-Set 的類別(class)來表達屬性(attribute)的模糊性，不確定的資訊則由一種一般化模糊集來表達，在此集合中每個元素(element)都有一個模糊真值(fuzzy truth value){p/true,n/false}。

在 [6] 的研究中，將物件辨識(object recognition)的問題視為一種分類問題，由物件導向知識表示法，以及根據模糊樣本匹配(fuzzy pattern matching)程序的控制策略來完成。類別 (class)的分類是由框架(frame)的組織結構來表示。模糊匹配理論(fuzzy matching theory)以可能性理論(possibility theory)為基礎，用來決定哪個類別可以匹配一個未知的物件，此匹配的過程可視為兩個物件的相似性(similarity)與差異性 (difference)的量化(quantification)，這些量測的計算與以下幾個部份密切相關，雛形(prototype)的型態、物件欄位的型態，及每個欄位的比重 (weight)。

與上列的方法作比較，FOOM 提供了幾個重要的好處：

- FOOM 提供一個更廣泛的表示方法，它可以表達幾種不同的模糊性，這些模糊性在使用者的需求裡是常見的。
- 在計算類別的成員(membership)時，上列的方法只考慮屬性的值，他們忽略了傳統的OOM 的類別表示不只屬性。FOOM不但處理屬性 (attribute)，同時也處理操作(operation)和關係 (relation)。

4. 結語與未來研究方向

FOOM 提出四種模糊化：類別的屬性及運算的參數屬性、類別間的關係、類別階級組織與多質性。類別間的關係我們主要探討數量 (cardinality) 上的關係，利用數學上的函數來討論。作用在模糊集合上的函數對於數量上的定義更有彈性，具有更強的模組能力。

關於類別階級組織的模糊化已有許多研究從事討論，本篇論文特別加入運算的考量，這是因為考量到類別是由相識的屬性、運算與關係所組成的。我們將類別看成模糊集合，利用模糊包含 (fuzzy inclusion) 來表示類別階級組織上 的AKO degree 及 ISA degree。

多質性 (polymorphism) 是 OOM 重要的特性之一，由於以往的參數只允許明確集合，所以對於方法 (method) 的選擇只能唯一 (只有參數協定符合者被選定)。在 FOOM 中允許模糊參數，所以方法的多質性有了程度的差別，也因為多質性程度的差別而區別傳回值的重要性。

未來的研究將致力於擴充 FOOM，使之成為完整的模組方法論 (modeling methodology)。擴充的方向簡述如下：

- 擴展 FOOM 能模組需求中不確定的模糊：在 FOOM 中只對語意上的模糊 (intrinsic fuzziness) 提出模組的方法，對於不確定模糊 (uncertainty fuzziness) 沒有加以討論。由於不確定模糊沒有足夠的資訊來描寫其模糊的程度，所以必須用分解 (decomposition) 的方式解決。
- 擴展 FOOM 使之成為物件導向正規語言 (object-oriented formal specification)：正規語言用數學的方式來模組需求規格，它的優點是較

正確 (precise)，不會有模稜兩可的情形，而且便於系統做偵測錯誤與校正。一般的正規語言並沒有辦法去模組模糊的觀念，而 FOOM 也缺乏像正規語言這樣的優點，所以在未來的研究方向之一是朝向發展 FOOM 成為正規語言。

- 建立一個以 FOOM 方法為基礎的 CASE tool：如同一般的物件導向設計方法一般，FOOM 需要一個CASE tool 來輔助模糊物件的模組。此 CASE tool 幫助我們模組模糊類別 (fuzzy class)、類別間的關係、模糊理論的運算、類別階級組織的包含或屬於程度等。

	Focus	fuzziness	Hierachy	polymorphism	Relation
Grahan	fuzzy object	-attribute -AKO	given by system	x	x
George	imprecise DM in DB	-attribute -AKO, ISA	similarity relation	x	x
Dubois	uncertainty in hierachy	-attribute -AKO, ISA	fuzzy inclusion	x	x
Grager	object recognition	-frame field -fuzzy match	x	x	x
FOOM	modeling imprecise reqt.	-attribute -hierachy -relation -polymorphism	fuzzy inclusion	o	o

表二 相關研究比較表

參考文獻

[1] D. Dubois and H. Prade. *Fuzzy Sets and Systems*: Theroy and Applications. Academic Press. New York, NY, 1980.

[2] D. Dubois and H. Prade. and J.P. Rossazza. Vagueness, Typicality and Uncertainty in Class Hierachies. *International Journal of Intelligent Systems*, 6:161-183, 1991.

[3] R. George, B.P. Buckles, and F.E. Petry. Modeling Class Hierachies in the Fuzzy Object-Oriented Data Model. *Fuzzy Sets and Systems*, 6:259-272, 1993.

[4] I. Graham. Fuzzy Objects: Inheritance under Uncertainty. In *Object Oriented Methods*. pages 403-433. Addison Wesley, 1994.

[5] C. Granger. An Application of Possibility Theory to Object Recognition. *Fuzzy Sets and Systems*, 28(3):351-362, 1988.

[6] N.V. Gyseghem, R.D. Caluwe, and R. Vandenberghe. UFO: Uncertainty and Fuzziness in an Object-oriented Model. In *Proceedings of the International Conference on Fuzzy Systems*, pages 773-778, 1993.

[7] K. Lano. Combining Object-Oriented Representations of Knowledge with Proximity to Conceptual Prototypes. In *Proceedings of Computer Systems and Software Engineering*, pages 442-446, 1992.

[8] J. Lee, J.I. Pan, and W.T. Huang. OOSZ: Towards an Integration of Object-Oriented Analysis and Formal Specifications. (to appear) Proceedings of the IEEE International conference on Tools with AI, Nov. 1995.

[9] F. Polack. Integrating Formal Notations and Systems Analysis: Using Entity Relationship Diagrams. *Software Engineering Joural*, pages 363-371, September 1992.

[10] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy, and W. Lorensen. *Object-oriented Modeling and Design*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.

[11] P. Torasso and L. Console. Approximation Reasoning and Prototypical Knowledge. *Internation Journal of Approximate Reasoning*. pages 157-177, 1989.

[12] V. Wuwongse and M. Manzano. Fuzzy Conceptual Graphs. In G.W. Minean and B. Moulin and J.F. Sowa, editors, *Conceptual Graphs for Knowledge Representation*. pages 430-449, 1993.

[13] L.A. Zadeh. Test-Score Semantics as a Basis for a Computational Approach to the Representation of Meaning. *Literacy Linguistic Computing*. 1:24-35, 1986.

[14] L.A. Zadeh. Fuzzy Logic. *Computer*, page 83-93, April 1988.