

文化遺產圖像深度語意標引方法設計與實現

王曉光

武漢大學信息管理學院教授

E-mail: wxguang@whu.edu.cn

劉雪梅

武漢大學信息管理學院碩士生

E-mail: 914624229@qq.com

夏生平

敦煌研究院副研究員

E-mail: 1125443239@qq.com

關鍵詞：文化遺產；深度語意標引；敦煌壁畫；信息建模；敘事性圖像

【摘要】

隨著文化遺產圖像資訊資源的迅速增長和數位人文研究的發展，針對文化遺產圖像語意內涵的深度語意標引逐漸引起人們的關注。文化遺產圖像的深度語意標引不僅可以提高圖像檢索與獲取的效率，增強使用者對圖像的理解程度，更能支援自動的圖像資源整合和知識發現，具有重要的理論和實踐意義。通過分析文化遺產圖像語意特徵及其主題、歸納總結現有文化遺產詮釋資料與本體組織，在明確深度語意標引的概念及其基本要求的基礎上，設計了深度語意標引的基本流程，構建了文化遺產圖像語意標引模型：宏觀概念模型、蘊含資訊層次模型與標引文本的結構化組織模型，並針對敦煌壁畫《九色鹿王本生圖》進行圖像深度語意標引實驗。圖像深度語意標引模型揭示了概念、圖像、文字等之間的語意關係，深度挖掘圖像標引中各資訊層之間的知識關聯，實現了圖像資訊單元細粒度組織。同時標引實驗驗證了圖像深度語意標引模型與標引文本結構化組織的可行性。文化遺產圖像深度語意標引方法的設計與實現是深度語意標引理論及圖像資訊組織理論的創新，對圖像資訊組織與數位人文研究發展具有深遠的意義。圖像深度語意標引的粒度與深度應以標注條件為基準進行選擇，深度語意標引資訊關聯集成與發佈展示也將成為未來研究發展的重點內容。

引言

文化遺產是人類在社會歷史實踐中創造的寶貴財富，具有極高的藝術、文化和社會價值。隨著社會資訊化進程的發展，利用電腦技術實現文化遺產的數位化保護、傳承和傳播日益受到重視。1992年聯合國教科文組織開始實施「世界記憶」計畫，旨在關注世界文獻遺產的保存保護和廣泛利用。2008年，歐洲數位圖書館門戶網站 Europeana (2017) 正式向全球開放，該網站提供來自歐盟 27 個成員國文化機構的超過千萬件圖書、地圖、繪畫、照片等文化遺產資料。我國文化遺產保護歷史悠久，但數位化保護、傳承和傳播工作起步較晚。2012年，中國國家圖書館開始實施「中國記憶」計畫，截至目前為止收錄包括年畫、照片、文獻、甲骨文等多類數位文化遺產資源。

圖像和文本一樣，都是重要的文化遺產載體和表現形式。隨著文化遺產數位化的發展，數位形式的文化遺產圖像資源增長迅速，這些數位圖像的主題豐富、內涵深刻，但是囿於現有的圖像中，詮釋資料在主題描述規範不夠細緻，圖像內複雜的語意內涵少有揭示，圖像主題標引中的漏標、錯標現象也十分常見，由此導致絕大多數文化遺產圖像資源的檢索和發現都不盡人意，難以支撐新興的數位人文 (Digital Humanities) 研究需要。

為了支援文化遺產資源深度的語意組織與集成，我們針對圖像資源提出了一種深度語意標引方法，旨在通過多層次的語意描述和結構化組織，實現圖像豐富內涵的語意揭示和表達。借助敦煌壁畫圖像實例的標引實驗，我們實現並驗證了該方法的可行性。

相關研究

文化遺產圖像特徵及其主題分析

根據《保護世界文化和自然遺產公約》(Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage) 的定義，文化遺產分為物質文化遺產與非物質文化遺產。物質文化遺產包括歷史文物、歷史建築、人類文化遺址，其中既包含石刻、壁畫、古建築等不可移動文物，也包含藝術品、文獻、圖書資料等可移動文物；非物質文化遺產是指被各群體、團體、有時為個人視為其文化遺產的各種實踐、表演、表現形式、知識和技能及其有關的工具、實物、工藝品和文化場所。文化遺產圖像是指與物質文化遺產和非物質文化遺產有關的各種類型的圖像，包括文化遺址上的圖像，如壁畫、史跡，還有各種文物上的圖像，如瓷器上的圖像、各種繪畫作品，此外還有各種建築、文物、遺跡的攝影作品、古籍內部的插圖等。在文化遺產數位化之前，這些圖像分散存在於它們所依附的實物載體上，難於集成獲取和重複利用。各個實例之間的關聯關係難於發現和解釋，由此限制了相關學術研究的開展，比如文化的演化、傳播和流轉歷史等。

隨著文化遺產數位化的不斷深入，包括已有文獻的數位化和文化遺產本身的數位攝影和數位掃描，數位形式的文化遺產圖像快速增加，由此形成了海量的文化遺產圖像資源，在文化遺產的展示、傳播和研究方面發揮著越來越重要的價值。目前，Europeana（2017）專案已收錄超過 3,000 家機構的 54,231,100 條數位資源。中國記憶也積累了超過 1,000 小時的口述史料和影音文獻（中國記憶專案資源共建共用，2015），構建了數量龐大且極具文化內涵的圖像資源資料庫。

文化遺產圖像類型多樣、內涵豐富、語意複雜。美國藝術史學家馬克·D·富勒頓（龍迪勇，2007）在研究古希臘藝術時，區分了「象徵性」和「敘事性」兩種圖像類型，認為象徵性圖像表示某種物體或現象，敘事性圖像則主要和某個故事或事件相關聯，都帶有深刻的精神寓意和文化內涵。這些精神內涵往往在不同時空、不同載體的圖像作品中以不同的變形重複出現，傳達著相似的或者相同的主题，這種情況構成了現實的文化現象。很多文化遺產圖像表現的主题或故事性內容常常也有對應的文字敘述，這種圖文之間的模仿、再現以及表達上的互文性形成了文化遺產多模態資源的重要語意特徵。

文化遺產圖像資源的詮釋資料組織

目前，博物館和圖書館界已經開發了多種專用的和通用的視覺資源詮釋資料標準，如美國視覺資源協會視覺資源核心類目（Visual Resources Association Core Categories for Visual Resources, VRA Core）、藝術作品著錄類目（Categories for the Description of Works of Art, CDWA）、都柏林核心元素集（Dublin Core Element Set, DC）、多媒體內容描述介面（Moving Picture Experts Group-7, MPEG-7）、MOA2 詮釋資料標準（The Making of America II, MOA2）等。其中 VRA Core 主要用於描述藝術類視覺資源及其衍生數位物件，如藝術、建築、史前古器物、民間文化等（馮項雲、肖瓏、廖三三、莊紀林，2001）。CDWA 亦用於對建築、藝術品及其視覺或文字替代品的描述，但與 VRA Core 不同之處在於它也可用於描述非視覺資源（黃崑、王珊珊、耿騫，2015）。VRA 和 CDWA 均可用於文化遺產領域的第一個內容編碼規範—文化物件編目指南（Cataloging Cultural Objects, CCO）。MPEG-7 是多媒體內容描述介面，是對多媒體內容進行規範描述的標準，在數位媒體和內容產業領域影響較大。MOA2 將圖像詮釋資料分為描述性詮釋資料、結構性詮釋資料和管理性詮釋資料三類，其中描述性詮釋資料用於發現、識別和定位數位圖像，結構性詮釋資料定義描述物件的內部組織、連結方式和顯示方式，管理性詮釋資料則包括了數位原版圖像詮釋資料、識別數位圖像的詮釋資料、連結數位物件及各實例的詮釋資料以及提供歸屬、版權等資訊的詮釋資料（袁莉、張曉林，2001）。

現有的詮釋資料框架對圖像的外部特徵進行了詳細揭示，但涉及圖像主题的精準描述時，現有的詮釋資料規範明顯不足。潘諾夫斯基在圖像學理論中曾將圖像學研究分為三個層面，

分別為前圖像志、圖像志和圖像學 (Panofsky, 1939)，由此奠定了圖像內涵解讀的基礎理論框架。1994 年，Layne 提出圖像標引的關鍵是要揭示圖像的內含物 (ofness) 和關涉物 (aboutness) (Layne, 1994)，圖像的主題標引重點在圖像學的前兩個層次。CDWA 也參照了圖像學理論把圖像主題 (Subject) 這個條目的標引內容分成了三個層次。1995 年，Jorgensen 在圖像屬性的研究中發現物件是圖像描述中最常見的一種內容 (Jorgensen, 1995)。1997 年，Armitage 和 Enser 從 7 個圖書館中獲取了 1,748 張圖像，在圖像查詢環境下對使用者描述進行測試，並以潘諾夫斯基的圖像學理論為基礎，建立了一個圖像內容的分析模型 (Armitage & Enser, 1997)。1998 年，Collins 提出在對圖像進行描述時應多考慮使用者對圖像的需求，並進行更多的前圖像志描述 (Collins, 1998)。2005 年，Neugebauer 提出圖像標引的困難在於圖像內含的多層資訊只能由人工標引揭示 (Neugebauer, 2005)。

2012 年，Gillian Rose 在其關於視覺分析方法論的專著中提出了一種更為集成的分析框架，她認為對圖像的詮釋應當考慮圖像自身 (image itself)、圖像的創作 (production) 和圖像的受眾 (audiences) 三個視角，其中圖像自身的分析中構成層面的分析指圖像內容成分的分析，偏重對圖像內容的敘述 (Rose, 2012)。2014 年，Rafferty 等探索了基於敘事的圖像標引系統的可能性，通過 26 個大學生對兩張圖像的故事性描述，研究了圖像標引的創新性形式，試圖構建一種基於敘事的圖像語意標引方法 (Rafferty & Albinfalsh, 2014)。Lei Zeng 等人使用自動語意分析工具，通過兩組樣本的分析，發現機器協助的語意分析在歸納前圖像志描述和圖像志分析層面更有潛力 (Zeng, Gracy & Žumer, 2014)。2015 年，Huang 等人提出了一套針對藝術圖像的語意分析框架，為藝術圖像的深度語意標引提供了指導 (Huang, Soergel & Klavans, 2015)。針對文化遺產圖像，王曉光等人也提出了一套層次性的語意描述模型，並針對敦煌壁畫圖像進行了初步的實驗 (王曉光、徐雷、李綱，2014)。

在文化遺產圖像標引詞彙選擇上，Tousch 等人認為結構化詞彙表對圖像標引起著重要作用 (Tousch, Herbin & Audibert, 2012)。目前，建築與藝術索引典 (Art & Architecture Thesaurus, AAT) 和圖像資訊描述標準 (ICONCLASS) 是兩個最知名的文化遺產領域詞表。它們的主題涵蓋了人類文化的多個方面，包括人物、時間、地點、事件、材質、器物等。但是這兩個詞表都是西方文化視域下的產物，其基本架構和內容都帶有西方文化色彩，在用於東方文化領域時還存在一定的適配性問題 (陳淑君，2015)。

文化遺產圖像資源本體組織

為了更好地實現不同詮釋資料之間的語意互聯，本體的構建與應用在文化遺產數位資源語意描述中起著至關重要的作用。目前，文化遺產領域已存在較為成熟的本體，如物件導向的概念參考模型 (CIDOC Conceptual Reference Model, CIDOC CRM)、ABC 本體 (ABC ontology) (Lagoze & Hunter, 2001) 等。CIDOC CRM 是物件導向的概念參考模型，提供一個

通用的、可擴展的語意框架，通過共用此框架描述文化遺產資訊，促進文化遺產知識共用；ABC 本體作為一個基礎的模型與本體，僅為構建領域等本體提供概念基礎，難以作為描述文化遺產資訊的知識本體。Hernández、Rodrigo、Contreras、Carbone 與 Botín (2008) 在 CIDOC CRM 的基礎上集成互補的模型，針對西班牙坎塔布里亞文化遺產構建本體；Kakali 等人 (2007) 提出了將 CIDOC CRM 本體作為仲介，並將都柏林核心詮釋資料與其進行集成，展現了文化遺產領域詮釋資料交互操作的方法。

近幾年來，國內部分學者也開始嘗試使用本體技術用於非物質文化遺產資源組織。談國新等研究了數位化技術對非物質文化遺產價值深度挖掘及知識表達的重要作用 (黃永林、談國新, 2012)。周耀林等人將非遺資源劃分為靜態概念、動態概念與空間概念三個部分，構建了一個四級非物質文化遺產本體框架 (程齊凱、周耀林、戴暘, 2011)。董坤嘗試性提出了非遺資源語意組織框架 (董坤, 2014)。陸偉等構建了西藏「鍋莊」、「堆諧」相關的本體知識庫 (黃永、陸偉、程齊凱、鄧勝利, 2016)。翟姍姍針對非物質文化資源聚合問題提出了基於關聯資料的非遺資源聚合方案 (翟姍姍, 2015)。夏立新等利用社會化標籤研究了非遺圖片資源的主題特徵 (夏立新、白陽、孫晶瓊, 2016)。

綜合目前的研究進展來看，現有的文化遺產相關詮釋資料、本體以及編目方案都對圖像資源的外部特徵有較為詳細的描述，但對圖像內涵的描述不夠細緻，缺乏足夠的描述規範，難於揭示文化遺產圖像深刻的語意內涵，更不利於文化遺產細粒度資源聚合與知識圖譜的構建。

文化遺產圖像深度語意標引

深度語意標引的概念

圖像深度語意標引 (Deep Sematic Indexing, DSI) 的概念源於文獻的深度標引 (Deep Indexing) 實踐，深度標引作為文獻組織的一種新型方式，意在滿足使用者高精度、高效率的檢索需求，其關鍵在於明確文檔中的圖表，抽取其中的資料與資訊來構建索引，以實現數位資源細粒度組織與管理，達到知識挖掘與共用的目標 (Hyer, 2008)。David Clarke 於 2015 年提出圖像深度語意標引的概念，旨在深入到圖像本身，側重於挖掘和表達圖像中的內容和語意結構，提高圖像資訊組織管理和檢索水準 (Clarke, 2015)。

深度語意標引的基本要求

隨著數位人文研究的崛起及語意技術的進步，研究者希望利用機器自動標注的方法，實現圖像細粒度知識單元的深層揭示，整合圖像與其他類型的數位資源，以達到建立文化遺產數位資源網路和數位人文研究基礎設施的目的。

圖像深度語意標引 (DSI) 的目標是通過受控的主題詞表、本體或自由的文本以及網路

資源進行細粒度語意標引，提高圖像整體及其片段的可檢索性、可發現性和可理解性，改進圖像資訊資源的管理水準。DSI 不同於傳統的圖像主題標引，其特點在於：

- 一、DSI 使用精確的領域術語和自然語言來揭示圖像內所包含的資訊，盡可能全面、多層次的挖掘圖像內所包含的複雜資訊，這與使用關鍵字或主題來進行圖像標引的傳統方式並不相同。
- 二、DSI 採用了結構主義思想，為了揭示圖像中各個細粒度物件的語意，DSI 採用精準區域對應的方式標引內容，這使得 DSI 並非只描述圖像整體語意，還關注細粒度圖像片段的語意。
- 三、為了組織圖像的語意標引資訊，DSI 採用層級結構來組織資訊，間接地揭示不同內容物件之間的語意關係，包括時間、空間、邏輯結構上的關係；最大限度地實現描述資訊與圖像內容本身的對應性。
- 四、DSI 的內容並非封閉的和一成不變的，其核心在於揭示圖像學前兩層的內容，對於圖像學第三層方面的解釋採用自選性操作，從而界定了圖像語意標引和圖像學研究的差異與聯繫。

就理論和方法而言，深度語意標引跨越了圖像資訊組織和圖像學研究的界限，一方面它提高了研究者資源搜索的效率且提供了圖像標注的基礎架構，使得研究者可以集中於圖像高層知識；另一方面，為了進行深度語意標引，標引者必須考慮圖像學領域專家研究角度，把握圖像學研究的認知模式，這樣語意標注的全面性和準確性才能得到有效的保障。

深度語意標引的基本流程

深度語意標引在於利用受控主題詞表、本體或自由文本以及網路資源進行細粒度的語意標引，提高圖像的可理解性，其基本的圖像主題詞表與關聯文本等資源必不可少。通過將圖像內細粒度資訊單元與關聯文本進行關聯匹配，借助受控的主題詞表及領域本體實現規範化處理，提高圖像深度語意標注的可靠性與閱讀性。本文採用結構化文本層級，深層次揭示圖像中隱藏的層級關係，輔助讀者理解圖像，同時為電腦通過機器學習實現深度語意標注提供規範化方法。具體流程如圖 1 所示。

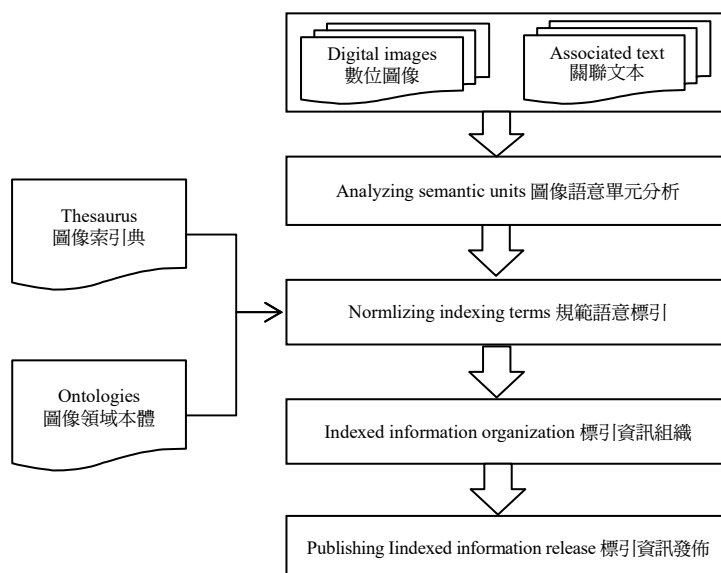


圖 1 圖像深度語意標引流程圖

深度語意標引流程共分為五個環節，包括圖像與圖像關聯文本獲取、圖像語意單元分析、規範語意標引、標引資訊組織及標引資訊發佈。

通常情況下，由於圖像內容的複雜性與表現上的抽象性，人們對於圖像內涵的理解往往需要各類圖像相關文獻來輔助解讀圖像，因此在對圖像進行深度語意標引時，首要任務是獲取數位圖像及與圖像關聯的文本。此後，依據文本對圖像進行語意分析，識別與確認標引物件，並確定標引資訊，選擇領域主題詞表與本體對部分標引資訊進行規範化轉換；接著還要對標引資訊進行組織，即將標引資訊按照一定結構進行排列。標引資訊的組織必須參考圖像物件之間的關係和圖像關聯文本的解釋性內容。以敘事性圖像為例，它們通常含有時間和情節，所以借助情節來組織標引資訊，可以實現對圖像內容的完整準確表示。最後，標引完畢的圖像還需要與標引資訊一起發佈，以便於使用者開放獲取或者內容集成共用與交互操作等。

文化遺產圖像深度語意標引模型

文化遺產圖像多帶有敘述性或象徵性意義，尤其是敘述性突出的圖像，具有明顯的時間與空間屬性。文化遺產圖像深度語意標引的重點在於理解概念、圖像、文字之間的語意關聯，明確圖像深度語意標引資訊層次模型，並構建樹形資訊層次模型，挖掘文化遺產圖像內蘊含的深層次語意資訊。

文化遺產圖像語意描述宏觀概念模型

文化遺產圖像深度語意標引的基礎在於明確數位圖像的關聯資源及其相互之間的語意連接。文化遺產圖像本體模型的構建，不僅能夠實現文化遺產數位圖像資源的有效組織，構建圖像資訊描述之間的多種映射，明確地表達與揭示隱含的深度語意資訊，同時也為深度語意標引提供了標準框架，用以集成各類資訊，滿足不同主體、不同文獻資源的有效檢索和訪問，增強圖像資訊資源在語意層面的互聯性，並在此基礎之上，實現更高層次的知識挖掘與組織管理。本文選取敦煌壁畫中的《九色鹿王本生圖》為例，構建文化遺產圖像概念模型，揭示概念、壁畫、數位圖像、文字等之間的語意關係，如圖 2 所示。

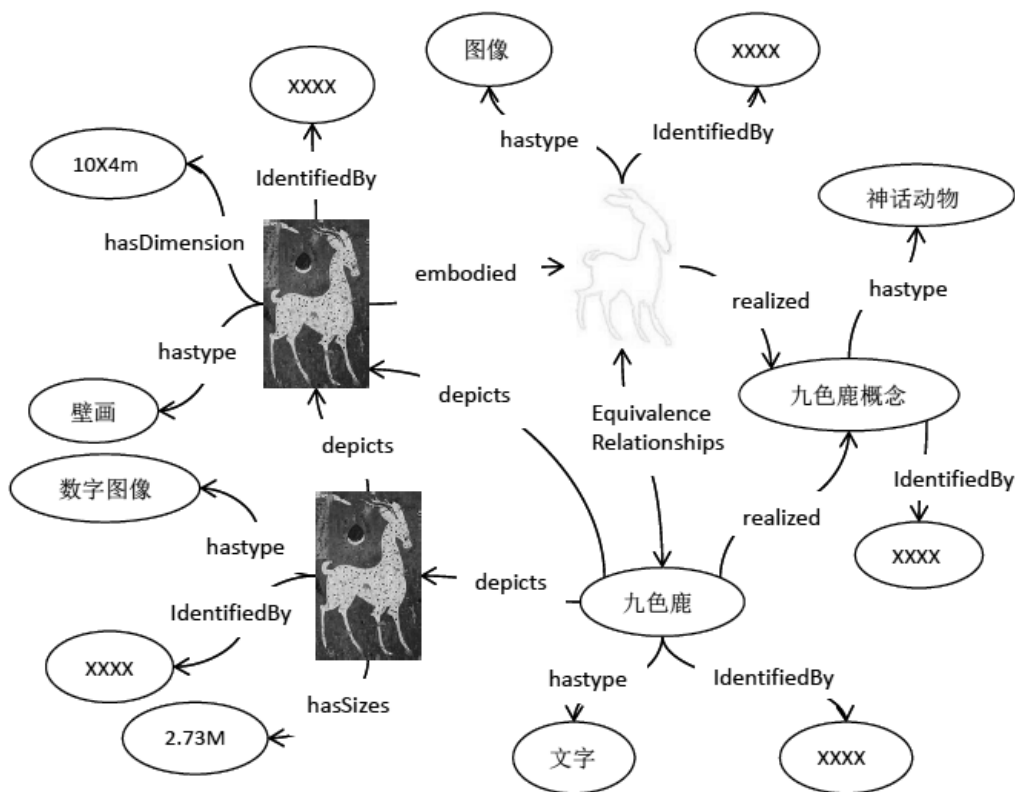


圖 2 敦煌壁畫語意描述概念圖

以「九色鹿」為例，九色鹿作為一種神話動物，可作為一種高層概念的表示；針對特定物件「九色鹿」而產生基於認知的「圖像」是對概念的實現和轉換，同時，「壁畫」以傳統壁畫的形式作為認知層次的九色鹿圖像的具體表達；隨著數位化的不斷深入，「數位圖像」作為一種新型的圖像描述及存儲形式可用以描述傳統壁畫，但由於敦煌壁畫的抽象性與複雜性，這樣的描述對於圖像深層語意資訊的理解與揭示是遠遠不夠的。

圖像與文字從本質上看都是表達概念的符號形式，兩者可以表達相同的語意。因此借助文字揭示圖像內各物件所蘊含的深層含義是可行的。在一定程度上，「文字」與「圖像」的語意是等價的。圖像深度語意標引就是要利用圖像與文字之間的這種語意等價性，實現更高效率的內容檢索和知識發現。

文化遺產圖像蘊含資訊的層次模型

為了更好地揭示圖像中所蘊含的語意資訊，深度挖掘圖像中知識關聯，實現圖像知識單元的再組織，我們構建了敘事性圖像的深度語意標引概念模型。模型分為四個層次，自下而上分別為圖像層、元素層、標引層及組織層，四層模型分別實現了圖像的語意揭示和資訊組織。

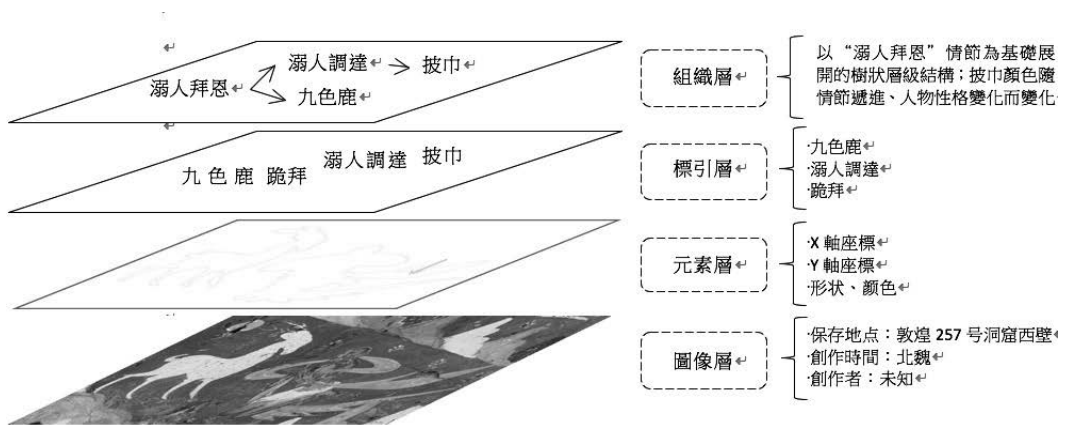


圖 3 文化遺產圖像語意資訊層次模型

- 一、圖像層：針對原始壁畫圖像進行描述，以 CDWA 為基礎框架，描述圖像外在資訊，包括保存地點、創作時間、創作者等。
- 二、元素層：通過對圖像中各個實體物件的識別，分離提取出圖像中所包含的各個物件元素，精準對應圖像各元素的標引框為本層的主要結構。該層以國際圖像交互框架（International Image Interoperability Framework, IIF）為描述基礎，描述標引框對應的 X、Y 軸座標、標引框形狀、顏色等資訊。
- 三、標引層：將已經分離出的各個元素各自對應標引唯一的、規範化的概念，如「九色鹿」、「溺人調達」、「跪拜」等。該層以潘諾夫斯基三層圖像學理論中的前圖像志與圖像志為理論基礎。
- 四、組織層：將標引層中所提取的概念與資訊以形式化的方式而非敘事性語句的方式進行表示，以此顯性地揭示圖像內容表現的邏輯關係，說明讀者理解圖像，同時為電腦理解圖像提供機器學習的資料基礎。

文化遺產圖像標引文本的結構化組織模型

文化遺產圖像的類型多樣，如何組織標引層提取的資訊才能最大限度地還原圖像本身的內容是個難題。毋庸置疑圖像類型不同，資訊組織方式也不同。敘事性圖像是文化遺產領域常見的圖像類型。圖像是一種從事件的形象流中離析出來的「去語境化的存在」（龍迪勇，2007），根據單幅圖像的敘事方式，敘事性圖像可以分為單一場景敘述型、綱要式敘述型和迴圈式敘述型三種類型（龍迪勇，2008）。維基百科也曾提到敘述性藝術（Narrative Art）可以分為全景式、前進式、序列式、連續式等幾種。綜合來看，敘事性圖像的基本要素為空間和時間，圖像表達敘事的方式依託故事情節的反覆運算，即圖像內場景與實體物件的變換來表達時間的演進。因此，在進行敘事性圖像的深度語意標引時，除去圖像內所包含的基本物件、行為活動等直觀顯示的語意單元，「情節」作為連接圖像與故事文本的重要結構，也應成為圖像深度語意標引的主要語意單元。

在確定了圖像深度語意標引的語意單元類型之後，如何將獨立的語意單元進行有效組織便是接下來的重點。傳統的組織方法主要是分類法和主題法（馬費成、宋恩梅，2011），新型組織方法有主題圖、概念圖、語意網等（蘇新寧，2014）。對於敘事性圖像而言，在用文字還原圖像的過程中，必須考慮「情節」與物件、行為的關係。參照主題樹的方式，我們設計了一種結構化組織方法。主題樹組織資訊資源的方法是將資訊資源按照某種事先確定的概念體系分門別類地加以組織。在敘事性圖像中，以「情節」為中心組織資訊不僅讓各語意單元一目了然，更可以表現圖像的敘事性內涵。使用者可逐層遍歷層級結構，分層次瀏覽感興趣的標引內容和對應的圖像區域。

敦煌壁畫《九色鹿王本生圖》是一幅敘事性圖像，具備敘事性圖像的基本特徵，其中包含多個物件與多個場景的變換，語意描述較為複雜。借助以上組織思想，我們構建了《九色鹿王本生圖》的語意資訊組織框架，如圖 4 所示。深度語意標引層級結構以「情節」為基本語意單元。第一層為情節及其連續性關係；第二層為具體情節下的物件，包括人物、動物、建築、交通工具等概念和實例；第三層為特定物件的子物件及其行為和情感等屬性，如有需要，子物件下還可進一步細分。

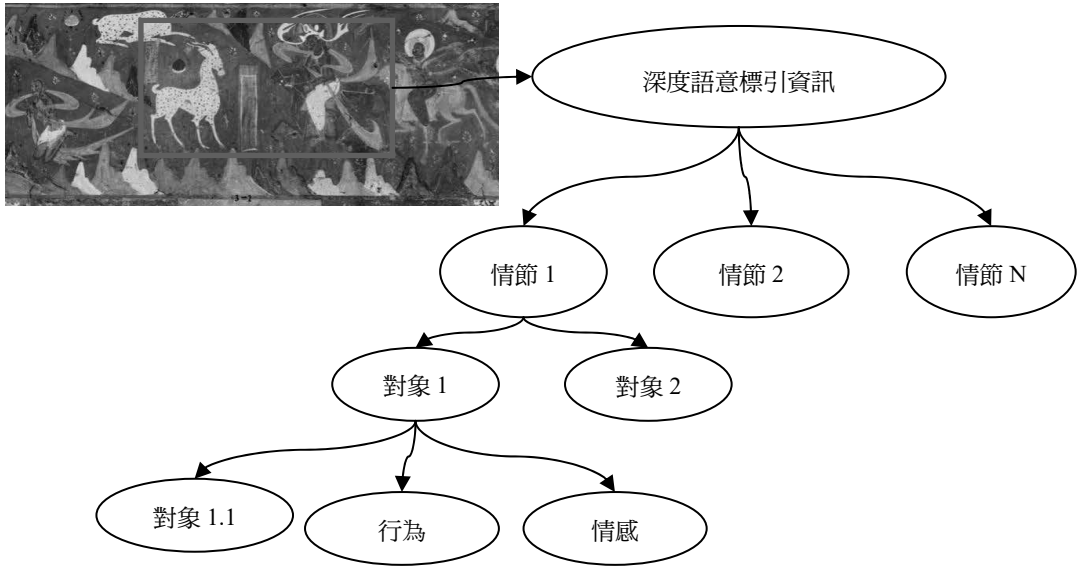


圖 4 深度語意標引層級結構

深度語意標引資訊作為一種結構化文本，既不同於圖像，又區別於傳統文本，具備結構化的層級結構，實現了文字對圖像的精準還原，揭示了圖像的深度內涵，同時也作為揭示圖像與文字之間隱形連結的中介型文獻，為圖像資源與文本資源之間的關聯搭建了橋樑，實現了跨模態的語意連接。

敦煌壁畫圖像深度語意標引實驗

敦煌莫高窟始建於十六國時期的前秦，歷經多個朝代的興建，形成了集建築、彩塑、壁畫於一體的大規模洞窟藝術。至今保有洞窟 735 個，壁畫 45,000 平方米、彩塑 2,415 尊，是世界上現存規模最大、內容最豐富的佛教藝術聖地（敦煌旅遊網，2016）。1987 年，莫高窟被列為世界文化遺產。

敦煌壁畫作為敦煌藝術的重要組成部分，適於表達豐富的內容和複雜的場景，以傳統漢晉藝術為基礎，吸收融合外來佛教藝術，呈現出了獨特的藝術風格。敦煌壁畫不僅包括尊像畫、供養畫、裝飾圖案畫等內容較為單一的壁畫類型，也包括本生故事畫、因緣故事畫、佛傳故事畫等複雜場景的壁畫類型。敦煌壁畫歷史悠久、思想深邃，不僅是人類文化遺產中的瑰寶，更是人類文化史上的奇跡，具有極高的佛教學術價值、藝術觀賞價值和廣泛的社會傳播價值。隨著文化遺產數位化的發展，敦煌研究院對壁畫進行了數位化採集，形成了海量的敦煌壁畫數位圖像資源。

為了更好地揭示、發佈、挖掘和共用敦煌壁畫中所蘊含的語意資訊，有必要對敦煌壁畫

數位圖像進行深度的語意組織。在深度語意標引思想指導下，我們借助 Synaptic 圖像標引軟體對敦煌壁畫中的《九色鹿王本生圖》的數位圖像進行標引實驗。

九色鹿王本生圖的敘事層級結構



圖 5 九色鹿王本生圖的標引結果

《九色鹿王本生圖》屬本生故事畫。本生故事是描繪釋迦牟尼生前為菩薩時的各種善行的故事（陳鈺、何家蓉，2007）。標引實驗首先對九色鹿王本生故事進行權威文本的檢索和搜集，將文本匯總整合後，對九色鹿圖像進行物件識別，對圖像中的各個實體進行基本的分類並確定標引的粒度；其次，將文本中的故事情節進行拆分，並轉換成樹結構，對圖像進行預標引；最後，使用 Synaptic 軟體對圖像進行正式標引。

- ▶ 01. 鹿在河边散步
- ▶ 02. 鹿救溺人
- ▶ 03. 溺人拜恩
- ▶ 04. 王后说梦
- ▶ 05. 溺人告密
- ▶ 06. 众人捕鹿
- ▶ 07. 乌鸦叫醒九色鹿
- ▶ 08. 九色鹿怒斥溺人

圖 6 九色鹿王本生圖的情節序列

《九色鹿王本生圖》標引資訊依據故事情節展開，第一層標引資訊連續的情節序列，如圖 6 所示。第二層標引資訊為各情節中的物件、行為、場景等。第三層標引資訊為各種子物件。在進行具體標引工作時，層級結構分別使用紅色、黃色、綠色進行區分。



圖 7 「溺人拜恩」情節及其對應的描述

在「溺人拜恩」的情節標引中,「溺人拜恩」為此標引區域的具體情節,其下級包含兩個物件,一個是「九色鹿」(神話動物),一個是「溺人調達」(人物),其中「溺人調達」標引層次中還包含子物件「披巾」(服飾),披巾隨情節的遞進、人物性格的轉變發生顏色變化(由石綠色變為黑色)。導覽圖的樹狀三層結構的標引資訊揭示了圖像本身所蘊含的敘事過程,實現了圖像標引資訊與敘事內涵的對應。

標引資訊的編碼表示

Synaptic 系統中每張標引圖像都遵從開放注釋標準 (Open Annotation, OA) 的架構,標引圖像內各標引物件,同樣遵從 OA 標準。Synaptic 系統在 oa:semanticTag 中使用 skos:broader 構建標引資訊層級結構。本文選取「眾人捕鹿」情節下的「勇士」作為標引表示示例,部分 XML 編碼如表 1 所示。

表 1 「勇士」XML 編碼

標引資訊層次結構	XML 表示
06.眾人捕鹿
06.01 勇士	<https://dunhuang.linkedcanvas.com/poi/itkwzrzoz78#bodyLabel>a<http://www.w3.org/2011/content#ContentAsText> ;
06.02 馬車	<http://www.w3.org/2011/content#chars> “勇士” .
06.03 溺人調達	<https://dunhuang.linkedcanvas.com/poi/itkwzrzoz78#bodyTag>a<http://www.w3.org/ns/oa#semanticTag> ;
06.03.01 手指九色鹿	<http://www.w3.org/2004/02/skos/core#broader>
06.03.02 爛瘡	<https://dunhuang.linkedcanvas.com/poi/itkxnrfoktb> ; (上層概念 “眾人捕鹿”)
	<http://xmlns.com/foaf/0.1/depicts>
	<https://dunhuang.linkedcanvas.com/concept/itkawkmy59239> .

(續表 1)

標引資訊層次結構	XML 表示
	<pre> <https://dunhuang.linkedcanvas.com/poi/itkwzrzoz78#selector> <http://schema.synaptica.com/oasis#captionPosition> "8" ; <http://schema.synaptica.com/oasis#lineColor> "#FFFF00" ; (標引 框顏色) <http://schema.synaptica.com/oasis#media> "polygon" ; (標引 框形狀) <http://schema.synaptica.com/oasis#selectorID> "inzgi30zmx8" ; (標引 框 ID) <http://schema.synaptica.com/oasis#textColor> "#FFFF00" ; (標引 文本顏色) a <http://www.w3.org/ns/oa#Selector> </pre>

標引用語的規範化控制

除了明確敘事性圖像深度語意標引的具體內容及結構，標引用詞彙的規範化定義也十分必要。在借鑒《敦煌學文獻檢索主題詞表》基礎上，我們提出了初步的敦煌壁畫標引詞表，並實現了簡單知識組織系統（Simple Knowledge Organization System, SKOS）化編碼，增強了詞表的互通性。詞表的編碼片段如表 2 所示。

表 2 敦煌壁畫標引詞表 SKOS 描述片段

釋迦牟尼佛	<pre> <skos:preLabel>釋迦牟尼佛</skos:preLabel> <skos:notation>01010101</skos:notation> </pre>
蓮花藻井圖案	<pre> <skos:preLabel>蓮花藻井圖案</skos:preLabel> <skos:notation>010801</skos:notation> </pre>

討論

語意標引的粒度與深度

根據圖像內涵語意的深度，可以將其分為多個語意層面，如物件層、物件空間層、場景層、行為／活動層、情感層等（王曉光等人，2014），在此思想指導下，進行圖像的深度語意標引是可行的。在敦煌壁畫圖像的語意標引實驗過程中，我們發現圖像標引的粒度難於確定，即深度語意標引物件細化的級別。以標引物件「溺人調達」為例，是否需要標引他的「披肩」難以確定。對此問題，我們認為標引粒度應考慮實際專案的目標和條件限制，在條件允許的情況下，越細越好，但成本越高。其次，針對圖像標引深度問題，是否要標引特定物件的情感資訊，需要慎重考慮。以往多有研究建議只標注圖像學的前兩層，對於涉及第三層的語意內容，除非有公認的研究結果可用於借鑒，可以不用標引，以免引起誤解和干擾後期的圖像學研究。

語意標引資訊的關聯集成

對文化遺產圖像進行深度語意標引是資料資源語意關聯和集成展示的基礎。文化遺產圖像往往帶有強烈的符號意義，在不同的時空和器物上，圖像的表現方式不同，但傳達的符號

意義卻可能是相似或者相同的，甚至具有同源性或者衍生性。不同的標引者在標引這些不同的、但關係密切的圖像時，會形成不同的標引資料集，為了更好地支持研究和知識發現，我們就需要實現這些資源之間的共用、關聯集成，甚至是交互操作，以揭示不同地區、語言和文化的認知差異。資源關聯與集成的物件甚至是不同模態的資料，比如圖像與文獻、典籍之間的關聯集成，圖像與視頻、音訊之間的關聯集成等。深度語意標引是跨模態語意關聯的基礎，也是文化遺產資訊資源語意組織的關鍵。

語意標引資訊的發佈與展示

為了共用人類的文化遺產資訊資源，越來越多的機構開始以關聯資料的形式發佈文化遺產資料。2014年美國蓋堤基金會（The J. Paul Getty Trust, Getty）將 AAT 以關聯資料的形式進行了發佈。可以想像，隨著文化遺產圖像深度語意標引的不斷深度，將形成大量的語意標引資料集，它們是一種新型的伴隨圖像存在的語意出版物，也是一種仲介型文獻，支撐著細粒度圖像資訊的發現，為了更好地滿足了人們對圖像檢索、瀏覽與學習的需求，這些標引資訊需要和圖像本身一起發佈和展示，如何創新發佈與展示形式是未來文化遺產資訊資源研究的重點內容。

總結

本文針對文化遺產圖像的語意單元及複雜關係，對文化遺產圖像語意特徵進行了提取和歸納，提出了文化遺產圖像本體模型及文化遺產圖像資訊層次模型，進而以敦煌壁畫中的《九色鹿王本生圖》為例，構建了敘事性圖像的深度語意標引結構，開展了標引實驗，創新了圖像深度語意標引方法。

圖像深度語意標引不僅僅是圖像標引方法的創新，更具有標引理論創新價值。它將潘諾夫斯基的圖像學理論框架引入圖像標引過程，在圖像語意結構定義基礎上，實現了標引方法與過程的創新。深度語意標引讓圖像標引的目標不再停留在圖像主題（aboutness）上，而擴展到了圖像內容（ofness），這一變化意味著深度語意標引處於圖像學與資訊組織理論的交叉領域，這對於圖像資訊組織具有深遠的意義。

圖像深度語意標引的產生適應了數位人文研究的發展趨勢。由大眾或專家標引形成的標引資料集圖像的知識發現具有良好的支撐作用，是構建數位人文研究基礎設施的重要組成部分。我們的初步試驗顯示圖像深度語意標引是可行的，但該項工作的調整是人工標引的高成本性，為了加快推進圖像深度語意標引，還需要嘗試將深度學習技術應用於標引過程，這一工作也是我們未來的關注重點。

致謝

本文受中國教育部「新世紀優秀人才」基金和人文社科重點研究基地重大專案基金資助。衷心感謝 David Clarke 先生提供的正在研發中的圖像標引軟體 OASIS，以及曾蕾教授富有啟發意義的學術意見！

參考文獻

- Armitage, L.H., & Enser, P.G.B. (1997). Analysis of user need in image archives. *Journal of Information Science*, 23(4), 287-299. doi: 10.1177/016555159702300403
- Clarke, D. (2015, July). Deep image annotation. In Philip Carlisle (Chair), *Making a Difference in Knowledge Organization*. Symposium conducted at the meeting of International Society for Knowledge Organization, London, UK. Retrieved from <http://www.iskouk.org/sites/default/files/ClarkePaperISKO-UK2015.pdf>
- Collins, K. (1998). Providing subject access to images: A study of user queries. *The American Archivist*, 61(1), 36-55. doi: 10.17723/aarc.61.1.b531vt5q0q620642
- Europeana Foundation. (2009). Europeana Collection. Retrieved from <http://www.europeana.eu/portal/en>
- Hernández, F., Rodrigo, L., Contreras, J., Carbone, F., & Botín, F. M. (2008, September). Building a cultural heritage ontology for Cantabria. In Nicholas Crofts (Chair), *The Digital Curation of Cultural Heritage*. Symposium conducted at the meeting of the International Documentation Committee of the International Council of Museums, Athens, Greece. Retrieved from http://network.icom.museum/fileadmin/user_upload/minisites/cidoc/ConferencePapers/2008/64_papers.pdf
- Huang, X., Soergel, D., & Klavans, J. L. (2015). Modeling and analyzing the topicality of art images. *Journal of the Association for Information Science & Technology*, 66(8), 1616-1644. doi: 10.1002/asi.23281
- Hyer, M. (2008). Deep Indexing: Harnessing the Power of Data Discovery. Retrieved from https://www.osti.gov/hoMe/system/files/07-08-08_CENDI_ProQuest_Hyer.pdf
- Jorgensen, C. (1995). *Image attributes: An investigation* (Unpublished doctoral dissertation). Syracuse University, New York.
- Kakali, C., Lourdi, I., Stasinopoulou, T., Bountouri, L., Papatheodorou, C., Doerr, M., & Gergatsoulis, M. (2007, August). *Integrating Dublin Core metadata for cultural heritage collections using ontologies*. DC-2007--Singapore Proceedings, 128-139.
- Lagoze, C., & Hunter, J. (2001, October). *The ABC Ontology and Model*. DC-2001--Tokyo Proceedings, 160-176.
- Layne, S. S. (1994). Some issues in the indexing of images. *Journal of the American Society for Information Science*, 45(8), 583-588. doi: 10.1002/(SICI)1097-4571(199409)45:8<583::AID-ASI13>3.0.CO;2-N
- Neugebauer, T. (2005). Image Indexing. *Photography Media Journal*. Retrieved from <http://www.phtographymedia.com/article.php?page=All&article=AImageIndexing>
- Panofsky, E. (1939). *Studies in Iconology: Humanistic Themes in the Art of the Renaissance*. New York: Oxford University Press.
- Rafferty, P., & Albinfalah, F. (2014). A tale of two images: The quest to create a story-based image indexing system. *Journal of Documentation*, 70(4), 605-621. doi: 10.1108/JD-10-2012-0130

- Rose, G. (2012). *Visual Methodologies: An Introduction to Researching with Visual Materials*. United Kingdom: Sage.
- Tousch, A. M., Herbin, S., & Audibert, J. Y. (2012). Semantic hierarchies for image annotation: A survey. *Pattern Recognition*, 45(1), 333-345. doi: 10.1016/j.patcog.2011.05.017
- Zeng, M. L., Gracy, K. F., & Žumer, M. (2014, May). Using a Semantic Analysis Tool to Generate Subject Access Points: A Study Using Panofsky's Theory and Two Research Samples. *Knowledge Organization*, 41(6), 440-451. In Professor M. Hudon (Chair), *Knowledge Organization in the 21st Century: Between Historical Patterns and Future Prospects*. Symposium conducted at the meeting of International Society for Knowledge Organization, Krakow, Poland.
- 中國圖書館學會 (2015)。2015 中國圖書館學會年會第 6 分會場：中國記憶專案資源共建共用，檢自：
http://www.lsc.org.cn/cn/news/2015-12/29/news_8640.html
- 【Library Society of China (2015). 2015 Chinese Library the Sixth Session of Annual Conference. The Construction and Sharing of Chinese Memory Project Resources. Retrieved from http://www.lsc.org.cn/cn/news/2015-12/29/news_8640.html】
- 王曉光、徐雷、李綱 (2014)。敦煌壁畫數位圖像語意描述方法研究。《中國圖書館學報》，40(1)，50-59。
- 【Wang, Xiao-Guang, Xu-Lei & Li-Gang (2014). Semantic Description Framework for Digital Dunhuang Mural Images. *Journal of Library Science in China*, 40(1), 50-59.】
- 夏立新、白陽、孫晶瓊 (2016)。基於關聯標籤的非遺圖片資源主題發現研究。《圖書情報工作》，60(2)，22-29。
- 【Xia, Li-Xin, Bai, Yang, & Sun, Jing-Qiong (2016). Topic extraction of intangible cultural heritage image resources based on associated labels. *Library and Information Service*, 60(2), 22-29.】
- 袁莉、張曉林 (2001)。數位圖像的元數據格式。《大學圖書館學報》，19(2)，27-30。
- 【Yuan, Li, & Zhang, Xiao-Lin (2001). Metadata Formats of Digital Images. *Journal of Academic Libraries*, 19(2), 27-30.】
- 馬費成、宋恩梅 (2011)。《資訊管理學基礎》。中國湖北省：武漢大學出版社。
- 【Ma, Fei-Cheng, & Song, En-Mei (2011). *Foundation of Information Management*. Hubei, China: Press of Wuhan University.】
- 陳淑君、陳雪華 (2015)。中國藝術領域的中英控制詞表語意對應。《圖書資訊學刊》，13(2)，161-208。
- 【Shu-Jiun Chen, & Hsueh-Hua Chen (2015). Lexical-semantic Mapping between Chinese and English Controlled Vocabularies in the Domain of Chinese Art. *Journal of Library and Information Studies*, 13(2), 161-208.】
- 陳鈺、何家蓉 (編著) (2007)。《敦煌壁畫故事大觀》。中國甘肅省：甘肅人民美術出版社。
- 【Chen, Jue, & He, Jia-Rong (eds.) (2007). *Dunhuang bihua gushi daguan*. Gansu, China: Ganshu People's Fine Arts Publishing House.】
- 黃永、陸偉、程齊凱、鄧勝利 (2016)。非物質文化遺產知識本體構建系統的設計與實現--以西藏“鍋莊”、“堆諧”為例。《西藏民族學院學報：哲學社會科學版》，37(1)，20-26。
- 【Huang, Yong, Lu, Wei, Cheng, Qi-Kai, & Deng, Sheng-Li (2016). Feiwuzhi wenhua yichan zhishi benti goujian xitong de sheji yu shixian – yi Xizang “guozhuang”, “duixie” weili. *Journal of Xizang Minzu University (Philosophy and Social Sciences Edition)*, 37(1), 20-26.】
- 黃永林、談國新 (2012)。中國非物質文化遺產數位化保護與開發研究。《華中師範大學學報 (人文社會科學版)》，51(2)，49-55。

- 【Huang, Yong-Lin, & Tan, Guo-Xin (2012). Zhongguo feiwuzhi wenhua yichan shuzihua baohu yu kaifa yanjiu. Journal of Huazhong Normal University (Humanities and Social Sciences), 51(2), 49-55.】
- 黃崑、王珊珊、耿騫 (2015)。國內圖像元數據應用研究現狀與分析。國家圖書館學刊, 24(4), 60-66。
- 【Huang, Kun, Wang, Shan-Shan, & Geng, Qian (2015). Analysis on the Status of Domestic Image Metadata Application Study. Journal of the National Library of China, 24(4), 60-66.】
- 馮項雲、肖瓏、廖三三、莊紀林 (2001)。國外常用元數據標準比較研究。大學圖書館學報, 19(4), 15-21。
- 【Feng, Xiang-Yun, Xiao, Long, Liao, San-San, & Zhuang, Ji-Lin (2001). A comparative study of commonly used metadata formats in abroad. Journal of Academic Libraries, 19(4), 15-21.】
- 程齊凱、周耀林、戴暘 (2011)。論基於本體的非物質文化遺產分類組織方法。信息資源管理學報, 01(3), 78-83。
- 【Cheng, Qi-Kai, Zhou, Yao-Lin, & Dai, Yang (2011). Classification and Organization of Intangible Cultural Heritage: A Method Based on Ontology Tool. Journal of Information Resources Management, 01(3), 78-83.】
- 董坤 (2014)。非物質文化遺產本體構建與語意化組織研究。數字圖書館論壇, (10), 40-45。
- 【Dong, Kun (2014). Fei wuzhi wenhua yichan benti goujian yu yuyihua zuzhi yanjiu. Digital Library Forum, (10), 40-45.】
- 敦煌市旅遊局 (2014)。敦煌旅遊官網, 檢自: <http://www.dhcn.gov.cn/>
- 【Dunhuang Tourism Administration (2014). Tunhuang luyou kuanwang. Retrieved from <http://www.dhcn.gov.cn/>.】
- 翟姍姍 (2015)。基於關聯數據的非物質文化遺產資源聚合研究。中國北京市: 科學出版社。
- 【Zhai, Shan-Shan (2015). Jiyu guanlian shuju de feiwuzhi wenhua yichan ziyuan juhe yanjiu. Beijing, China: Science Press.】
- 蘇新寧 (2014)。面向知識服務的知識組織理論與方法。中國北京市: 科學出版社。
- 【Su, Xin-Ning (2014). Knowledge Organization Theories and Methods for Knowledge Service. Beijing, China: Science Press.】
- 龍迪勇 (2007)。圖像敘事: 空間的時間化。江西社會科學, 9, 39-53。
- 【Long, Di-Yong (2007). Tuxiang xushi: Kongjian de shijianhua. Jiangxi Social Sciences, 9, 39-53.】
- 龍迪勇 (2008)。圖像敘事與文字敘事——故事畫中的圖像與文本。江西社會科學, 3, 28-43。
- 【Long, Di-Yong (2008). Tuxiang xushi yu wenzi xushi —— gushihua zhong de tuxiang yu wenben. Jiangxi Social Sciences, 3, 28-43.】

Design and Implementation of Deep Semantic Indexing on Digital Cultural Heritage Images

Xiaoguang Wang

Professor, School of Information Management,
WuHan University, China
E-mail: wxguang@whu.edu.cn

Xuemei Liu

Master, School of Information Management,
WuHan University, China
E-mail: 914624229@qq.com

Shengping Xia

Deputy Director, Information Center of Dunhuang Academic, China
E-mail: 1125443239@qq.com

Keywords: Cultural Heritage; Deep Semantic Indexing; Dunhuang Mural; Information Modeling; Narrative Image

【Abstract】

With the rapid growth of information resources for cultural heritage images and the development of Digital Humanities research, Deep Semantic Indexing (DSI), which aims at semantic indexing of cultural heritage images, has gradually attracted more and more attentions. DSI can improve not only the efficiency of image retrieval and acquisition, but also the user understanding of the images. It can support the integration of image resources and automatic knowledge discovery, which has important theoretical and practical significance. The study conducted throughout analysis of semantic features and themes of cultural heritage images and reviewed the existing cultural heritage metadata models and ontologies. Based on the understanding of the concept of DSI and its basic requirements, we designed the workflow and technological process of DSI, constructed the cultural heritage image semantic indexing model, including an inclusive concept model, an multi-layered information model, and a structural model of the indexing texts. We also conducted an indexing experiment of the Dunhuang mural "Nine-colored Deer". The DSI modeling of images reveals the semantic relationship between concepts, images and text, mines the knowledge correlation between each information layer

related to image indexing, and realizes the fine-grained organization of image information units. At the same time, the indexing experiment verified the feasibility and scientificity of cultural heritage image DSI structure. The design and implementation in DSI of cultural heritage image information is an advancement of the deep semantic indexing theory and image information organization theory. The decision on image indexing's granularity and extensibility should be based on the indexing contents. The integration of DSI information and the publishing of such information will be studied further in the future.

【Long Abstract】

Background

The deep semantic indexing of cultural heritage images can improve the efficiency of image retrieval and accessing, enhance users' understanding of image, and support automatic image resources integration and knowledge discovery. According to the current research progress, although the existing cultural heritage-related metadata standards, ontologies, and cataloging rules provide detailed descriptions about external characteristics of images, the descriptions about image connotations are not sufficient. Due to the lack of rules on descriptions, it is difficult to reveal the profound semantic connotations of cultural heritage images, which is unfavorable to the granular resource aggregation and knowledge discovery of cultural heritage.

Methodology

After summarizing the existing metadata standards and ontologies related to cultural heritages, this study proposes a basic model of deep semantic indexing (DSI) and designs a macroscopic concept model and a structured expression model for the indexing information. A DSI experiment on the image of Dunhuang mural "Nine-colored Deer" is also conducted.

The purpose of DSI is to represent the abundant meanings contained in images, using controlled schemas, thesaurus, ontologies, free text, and network resources. The DSI has several features: (1) the use of precise terms and natural language to reveal the information contained in images; (2) the application of structuralism; (3) the use of hierarchical structure to organize information; (4) its core is to reveal the content of the first two hierarchies of iconography while leaving the explanation of the third hierarchy as optional operation.

Basic Process of Deep Semantic Indexing

The basic process of DSI involves five steps, including the acquisition of images and image-associated texts, analyzing the image semantic units, normalizing the semantic indexing strings, organizing and publishing the indexed information.

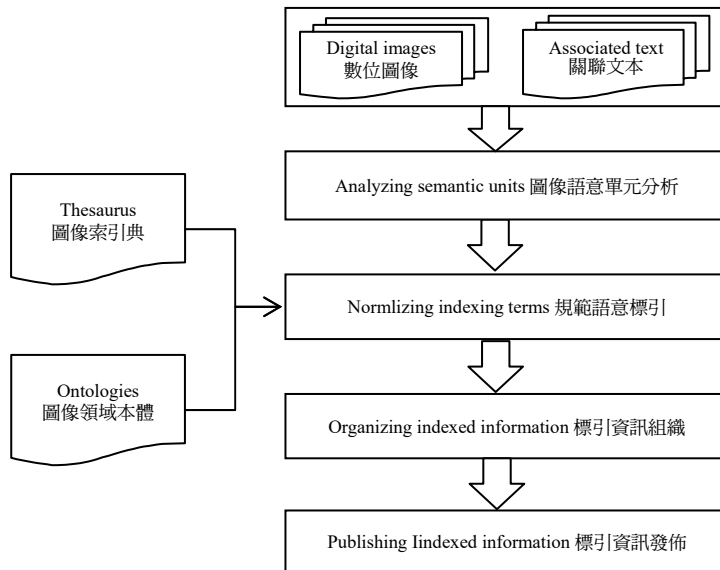


Figure 1 Process of Deep Semantic Indexing

Results

Reference model of cultural heritage images and related concepts

This study develops a reference model for deep semantic indexing, using the Dunhuang mural “Nine-colored Deer” as an example, to reveal the concepts and their relations related to cultural heritage images. As a special entity, Nine-colored Deer is an instance of a mythical animal, as shown in Figure 2.

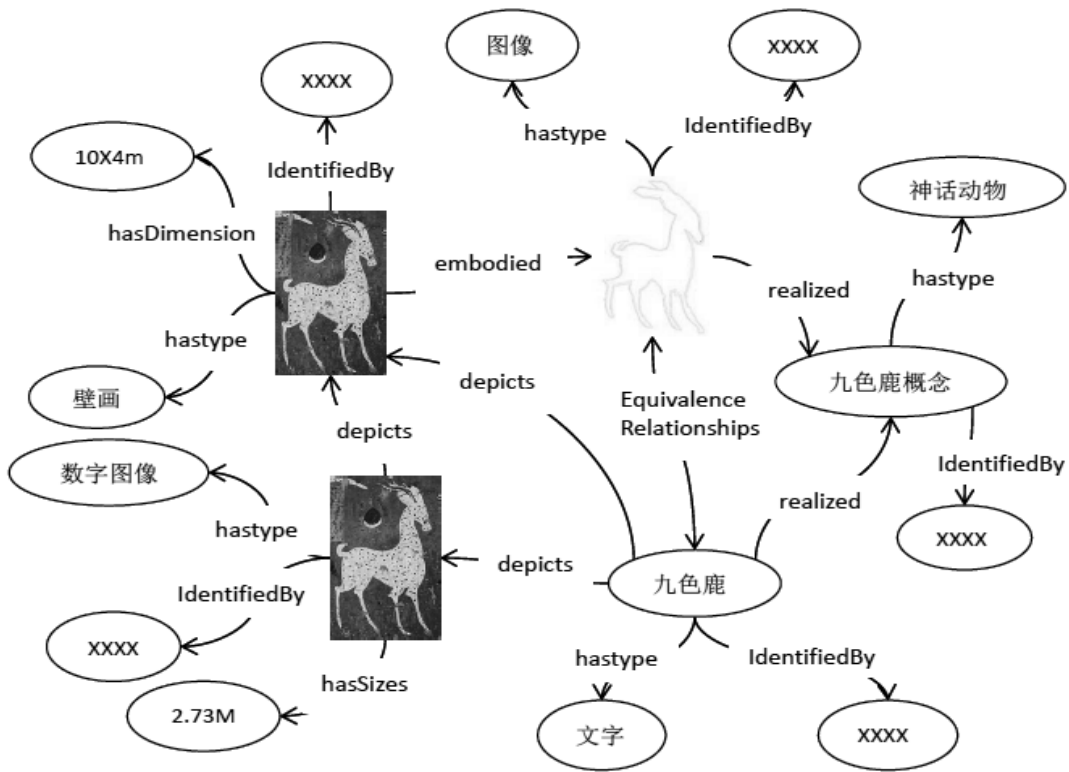


Figure 2 A concept map of the Dunhuang mural images of cultural heritage symbols

A hierarchical model of semantic information contained in cultural heritage images

The model comprises four hierarchies. (1) Level of image – the original mural image is described, using Categories for the Description of Works of Art (CDWA) as the basic framework to describe the external information of image; (2) Level of elements – various objects are separated and extracted from the image following an annotation schema; the International Image Interoperability Framework (IIIF) is used on this level; (3) Level of index information – with Panofsky’s theory as the theoretic basis, each object or activity is given a concept; (4) Level of semantic organization – the concepts and information extracted in the level of indexing are presented in a structured model instead of a narrative, to explicitly reveal the story reflected in image content. The four hierarchies of the model respectively enable the semantic revelation and information organization of image.

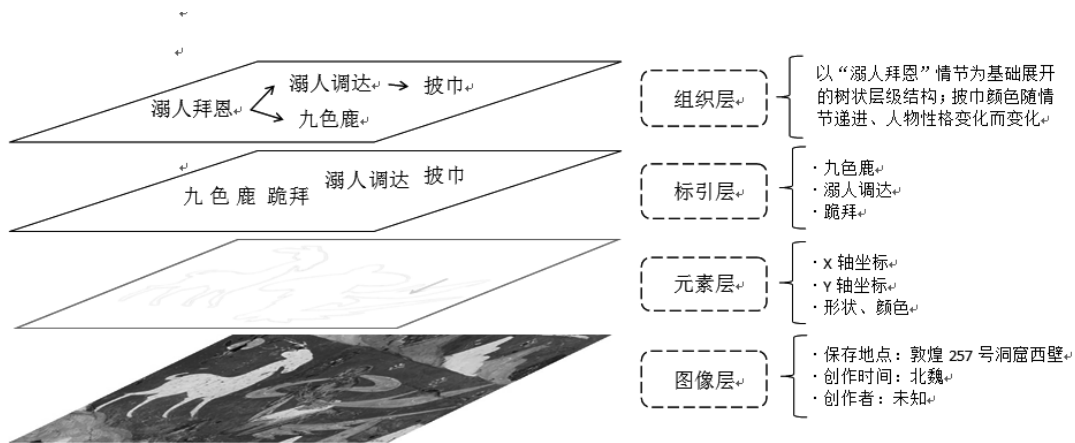


Figure 3 Hierarchical Model of DSI

The mural of “Nine-colored Deer” is a narrative image and it involves several scenes . In order to organize the DSI information, a schema is proposed and shown in Figure 4.

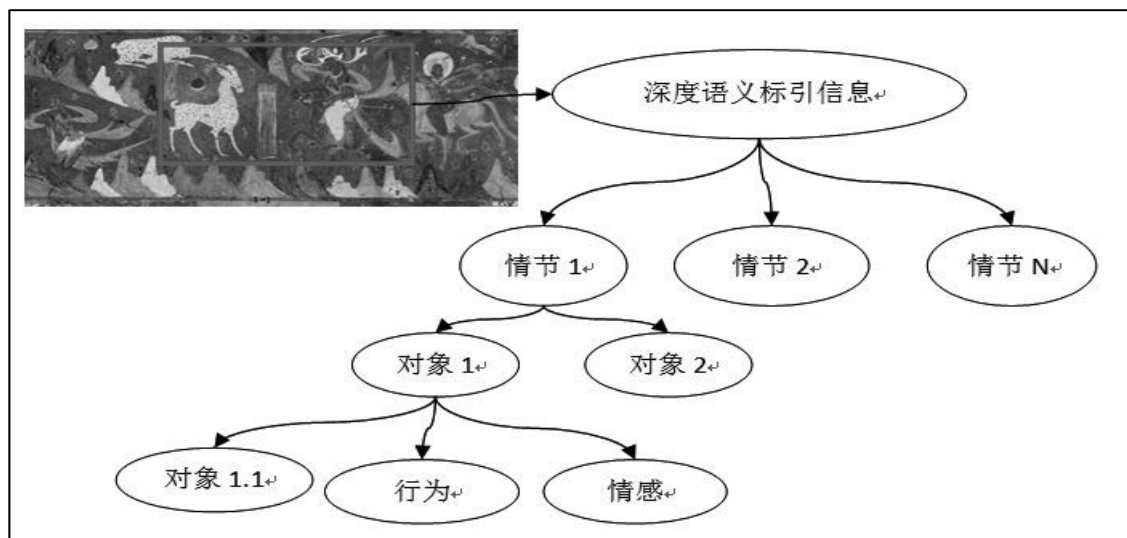


Figure 4 The Schema of DSI Information

In this schema, plot is the key unit. The DSI information is organized according to the plots, the contained objects and their properties.



Figure 7 Plot of “Gratitude Expression of Drowning Man” and Corresponding Description

The plot of “gratitude expression of drowning man”, for instance, is the specific plot of the indexed area, and it involves two objects: the “Nine-colored Deer” and the “drowning man Devadatta”.. The indexing information is organized into a tree, which reveals the semantic structure of the image.

Normative Control of Terms Used in Indexing

On the basis of “Dunhuang Literature Indexing Thesaurus ,” we propose a preliminary Dunhuang mural image thesaurus and code it with Simple Knowledge Organization System (SKOS).

Conclusion

Granularity and Depth of Semantic Indexing

Many existed studies suggest that indexing be performed in only the first two hierarchies of iconography and that the semantic content involving the third hierarchy be exempt to avoid causing misunderstanding and distraction to prospective iconography studies, unless a publicly acknowledged study is available for reference.

Associative Integration of Indexed Semantic Information

Different indexed data sets may be produced when individual indexers index a set of different but closely associated images. In order to better support research and knowledge discovery, it is necessary to achieve the sharing, associative integration, and even interoperability of the datasets so as to reveal the cognitive differences in different areas, languages, and cultures.

Release and Exhibition of Indexing Semantic Information

In order to meet the need for image retrieval, browsing, and learning, it is necessary to release and exhibit the indexing information along with the image itself. In this regard, the development of innovative forms of release and exhibition is the focus of future studies on cultural heritage information resources.

【Romanization of Chinese references is offered in the paper.】