

視訊資料庫時間關係頻繁樣式探勘之研究

余平* 劉立瀚** 趙偉傑*** 郭惠珊**** 陳冠寧*****

*文化大學資訊管理學系 助理教授 yp@faculty.pccu.edu.tw

**文化大學資訊管理學系 研究生 leetaro@hotmail.com

***文化大學資訊管理學系 研究生 jeff4125678@yahoo.com.tw

****文化大學資訊管理學系 研究生 pinkofsakura@gmail.com

*****文化大學資訊管理學系 研究生 x34520002000@hotmail.com

摘要

近年來在視訊資料庫中探勘頻繁樣式已有許多研究成果，但由視訊資料庫中探勘出有意義頻繁樣式仍具有兩方面的問題。一是如何表示視訊的頻繁樣式，其中一種方法是以視訊中物件間所具有的時空關係來表示，我們曾提出9DST視訊表示法來表示視訊中已標示為最小矩形物件間的關係，研究成果顯示可適用於視訊頻繁樣式的探勘；另一個問題則是使用何種探勘方法，在之前的研究中，我們已提出視訊中物件間時間拓撲頻繁樣式探勘的初步研究，在本文更進一步，利用9DST視訊資料庫及Apriori-like的探勘方法，提出視訊中物件間時間關係頻繁樣式探勘演算法，以由視訊資料庫中找出更精確的頻繁樣式。此外，為顯示提出方法的效能，本文亦進行初步的效能分析實驗，以實證本論文的研究成果。

關鍵字：資料探勘, 頻繁樣式探勘, 視訊探勘, 視訊資料庫

The research of mining temporal relations frequency patterns in video database

Abstract

Recently, there have many researches interest to mine the frequent pattern in the video databases. There are two main problems to find the meaningfully frequent pattern from the video databases. The first is the presentation of frequent patterns of videos. One of the most important methods is the perception of the objects and the spatial-temporal relations that exist between the objects in a video. We proposed the 9DST presentation method of video that can use to represent spatial-temporal relations between the objects in a video and also can use to mine the frequency pattern in video databases. The mining approach is another problem. Most of the proposed video pattern mining algorithms used the Apriori-like algorithms. Accordingly, in this research, we develop a new video mining method based on 9DST approach and the Apriori-like mining approach to find the frequent patterns of temporal relations between objects in the video database.

Keywords: Data mining, Frequency pattern mining, Video mining, Video database

1. 前言

近年來由於資訊科技的進步，數位多媒體的製作及存取技術發展相當快速，在技術進步及迫切需求的助益下，不僅是高畫質的數位相機或是數位攝影機具有存取影像及視訊的能力，許多可攜性的設備如手機、個人數位助理、及筆記型電腦也具有存取高畫質影像及視訊的能力，但如何由大量儲存的視訊中獲取更多有用的資訊，雖在近年來已吸引相當多的學者投入各方面相關的研究，仍是一個具有相當挑戰性的議題。

一般而言，此研究方向具挑戰性的主要原因有二，一是因視訊中物件具有時間及空間上的關係，但缺乏有效管理視訊資料中物件時空關係的表示方法。在空間關係上，如交通監視視訊中包含建築物、交通工具、交通號誌、及行人等具不同獨立意義的物件，物件間又具有空間上的語意關係，如停車場內外的汽車和建築物停車場即具有不同的語意，因此需要定義物件空間上的關係，以能更進一步表示物件間的語意，而物件間亦會因時間上的關係而有所不同，如通過十字路口的汽車與號誌的時間關係，其在不同時間不同號誌與汽車的空間關係的變化即表示不同的語意。故如需探勘視訊中的頻繁樣式，需具管理視訊物件間時空關係的能力。第二個原因是現仍無具有效率的視訊探勘方法，能找出視訊資料中物件間時空關係的頻繁樣式，以更進一步找出更有意義的語意。因先前所發展的資料探勘研究，大都皆以探勘資料庫交易記錄中具頻繁出現的交易商品組合，例如重覆性且具相關性的購買行為，近年來雖有許多學者提出影像或視訊資料庫頻繁樣式的探勘研究，但主要仍以影像及視訊中的原始資料(raw data)為主，如顏色、紋理或標題文字等，並無法對視訊中物件間時空關係予以有效的探勘，故雖然在文數字資料庫的研究中交易記錄項目的資料探勘已有相當的成果，但在視訊中物件間時空關係的頻繁樣式的探勘仍缺乏具有效率的方法。

我們曾提出物件間時空關係的視訊表示法9DST，分別利用記錄視訊中物件變化情形的物件索引表，及記錄視訊中兩兩物件時空關係的9DST索引表與9DST檢索結構，提供有效率的視訊儲存及檢索功能，其中9DST索引表利用擴展9D-SPA影像表示法[6]，將原本用來表示影像中物件固定空間關係的表示法，擴展至具有時間特性的視訊，除表示兩兩物件間相對的方位關係以及空間關係外，並結合時間軸的概念，且利用9DST索引結構所提供有較有效率查詢功能。在曾提出的視訊相似度查詢的相關研究中[4][6]，我們曾利用相似空間時間關係子字串的時間區間集合來定義視訊物件間的相似度，且定義出空間關係、時間關係、及連續時間等三種型態的相似度衡量，此種由簡至繁的分層結構，亦可架構出具不同階層精確度的視訊頻繁樣式。故本研究以9DST所儲存的視訊資料庫，發展視訊物件時間關係頻繁模式的探勘方法，以能更有彈性的由視訊資料庫中探勘具有意義的視訊物件頻繁樣式。另因所提出的視訊探勘方法基於Apriori-like演算法，其採用階層式結合與每階層均需掃描資料庫以找出頻繁樣式的方法，造成昂貴的探勘成本，為能探勘大量且可能具有長頻繁樣式的視訊資料庫，即可利用9DST的索引結構來減少掃描資料庫所需的成本，以較低的計算成本探勘出所有頻繁樣式。另為能顯示提出方法的效率，也在初期實作中進行多項效能實驗，以顯示所提出的方法的可行性。

2. 相關研究

在影像及視訊中物件時空關係的管理及視訊索引模型的相關研究上，近年來有相當多的影像及視訊表示模型及查詢方法被提出，如 MPEG-4[8]標準中提出一個以視訊物件為基礎的資料架構，在此基礎下，每一個視訊物件還可更進一步的分為不同的層級，每一層由真正影像的實體及視訊物件平面(Video Object Plane)所構成，視訊物件平面包含了物件形狀和材質的資料，用以開發更多的應用，但在 MPEG-4 中並沒有提供如何將視訊分割出個別視訊物件及如何探勘物件的方法。在將個別的影像中物件以圖示(icon)方式來表示物件間的空間關係及模型化上，亦有許多研究成果發表，如 2D string、2D G-string、2D C-string、2D C+-string、unique-ID-based matrix、GPN matrix、virtual image、BP matrix、2D Z-string、9D-SPA 等。其中 2D C-String [7]將影像中物件的空間關係以 13 種關係來表示影像，如表 1，進而發展出更豐富的影像物件內涵，其中 Begin(A)/End(A)代表物件 A 在 x(y)軸的啓始/結束位置，且因其中 6 種關係具對稱的關係，故可利用 7 種符號即可表示 13 種關係。

表 1：2D C-string 空間運算子的定義[7]

符號	狀態	意義
$A < B$	$End(A) < Begin(B)$	A 與 B 分離
$A = B$	$Begin(A) = Begin(B), End(A) = End(B)$	A 與 B 相等
$A | B$	$End(A) = Begin(B)$	A 與 B 相鄰
$A \% B$	$Begin(A) < Begin(B), End(A) > End(B)$	A 包含 B 但沒有相鄰
$A [B$	$Begin(A) = Begin(B), End(A) > End(B)$	A 包含 B 且起始邊相同
$A] B$	$Begin(A) < Begin(B), End(A) = End(B)$	A 包含 B 且結束邊相同
A / B	$Begin(A) < Begin(B) > End(A) > End(B)$	A 與 B 部分重疊

除有關影像索引模型以空間關係來表示影像的相關研究外，亦有許多方法進一步利用增加視訊中物件的時間關係來建立視訊索引模型。為表示視訊中物件的時空間關係，可將視訊視為連續的影像，在此假設下，亦有許多相關的圖示視訊索引方法由 2D string 擴展而來的研究，如 2D B-string、2D C-Tree、9DLT strings、3D string、3D C-string、3D Z-string 及 9DST 等，在本文中即利用 9DST 視訊表示法所提出具良好查詢效率的 9DST 索引結構，來進行視訊的探勘，有關 9DST 表示法將在第三節中予以的說明。

在資料探勘的相關研究上，Agrawal 及 Srikant [1][2] 提出 Apriori 演算法來探勘頻繁項目集，並利用 Apriori 特性來加快刪除不合格的候選項目集。其後有許多基於 Apriori 演算法探勘頻繁項目集的方法被提出來，稱為 Apriori-like 演算法，其運用在影像及視訊資料庫探勘的相關研究上，如交通、醫學、氣象、地理、及多媒體資訊[9]等方面的影像探勘研究，其中 Lee et al.[5]利用 Apriori-like 演算法，在影像資料庫中探勘空間關係規則，利用 9D-SPA 所具有良好效率的檢索結構，更有效率的在影像資料庫中探勘頻繁樣式。綜合來說，大部份的現有的影像或視訊的探勘研究，大都著力於找出相鄰資料集的空間關係，或由影像中利用影像的原始資料，如顏色等特徵，萃取出某些基於像素的影像特性，再將資料探勘的方式應用在影像資料庫中，除 Lee et al.[5]外亦無針對影像中物件間的空間關係進行探勘，而視訊探勘方面的研究亦是如此，使得此方向的研究具有探討的價值，故本文利用具探勘效率的視訊索引結構，再利用較佳的資料探勘方法，來發

展視訊中物件間時空關係頻繁樣式的探勘演算法。

3. 9DST 視訊模型

在 9DST 視訊索引模型中，具有物件索引表、9DST 索引表及 9DST 索引結構等三種資料結構，其中物件索引表除記錄視訊物件的初始位置及存在的時間點外，亦記錄視訊物件隨著時間改變的情況，包括位移與大小變化，其中物件的位移是指包含物件的最小矩形重心在不同時間上位置的改變，分別利用物件在 x 軸與 y 軸的位置來表示位移變化的改變量，物件的大小變化則指包含物件的最小矩形在不同時間上的大小改變，可利用物件的寬高變化，表示大小的改變量。物件索引表各物件的表示法以 [ObjectID] [t,c,x,y,w,l][[(F,X_d,Y_d,X_z,Y_z)₁...|(F,X_d,Y_d,X_z,Y_z)_n]]，來紀錄物件與時間軸的變化性質，物件索引表的目的是在於能夠快速的還原視訊。

9DST 索引表記錄視訊中不同視訊格中物件間的空間關係，同樣利用 9D-SPA 表示法的概念，以 9 種方位關係及 4 種拓樸關係來表示物件間的空間關係，並且加入一個欄位來記錄物件間的時間關係，時間關係是指物件間在時間軸上出現及結束的先後順序，可利用 2D C-string[5] 13 種關係類型予以數值化後表示，關係與替代數值如表 2 所示。

9DST 索引表的結構具有四個欄位，表示兩兩物件的整體時間關係及同時存在的空間關係，表示法如：VideoID: {[(O_i, O_j) (S_{ij}) (Relation) (Shot)]}，其中 (O_i, O_j) 是指兩兩物件為一組的編號，S_{ij} 為上述的時序關係。Shot 為一由連續視訊格片斷長度 (F_{s1}- F_{e1} | F_{s2}- F_{e2} | ... | F_{sk}- F_{ek}) 所組成的串列，每一個區段以符號「|」作為區隔，F_s 為區段起點，F_e 為區段的終點，且 F_{si+1}-F_{si}=1，故區段時間長長度為 F_e-F_s，如區段為單一視訊格，則以 F_s 表示，在同一個 Shot 區段中，物件對具有相同空間及拓樸關係，而其相對應的空間及拓樸關係在 Relation 中表示，Relation 為一具有 D_{ij}、D_{ji} 與 T_{ij} 所組成的串列，依序對應前述的 Shot，紀錄該 Shot 的各項空間關係，同樣以符號「|」作為區隔。

表 2. 9DST-string 物件間時間拓樸及時間關係編碼表

Temporal Topology	Temporal Relations	Conditions	Binary code/Value of Topologies	Binary code/Value of Relations
<i>Disjoin</i>	$P < Q$ $P < * Q$	$E_P < B_Q$ $E_Q < B_P$	$(00000000)_2=0$	$(0000)_2=0$ $(0001)_2=1$
<i>Join</i>	$P | Q$ $P | * Q$	$E_P = B_Q$ $E_Q = B_P$	$(00010000)_2=16$	$(0010)_2=2$ $(0011)_2=3$
<i>Part-Ovlp</i>	P / Q $P / * Q$	$B_P < B_Q < E_P < E_Q$ $B_Q < B_P < E_Q < E_P$	$(00100000)_2=32$	$(0100)_2=4$ $(0101)_2=5$
<i>Belong</i>	$P [Q$ $P \% Q$ $P] Q$	$B_P = B_Q, E_P > E_Q$ $B_P < B_Q, E_P > E_Q$ $B_P < B_Q, E_P = E_Q$	$(01000000)_2=64$	$(0110)_2=6$ $(0111)_2=7$ $(1000)_2=8$
<i>Inside</i>	$P [* Q$ $P \% * Q$ $P] * Q$	$B_Q = B_P, E_Q > E_P$ $B_Q < B_P, E_Q > E_P$ $B_Q < B_P, E_Q = E_P$	$(10001001)_2=128$	$(1001)_2=9$ $(1010)_2=10$ $(1011)_2=11$
<i>Equal</i>	$P = Q$	$B_P = B_Q, E_P = E_Q$	$(11000000)_2=192$	$(1100)_2=12$

為了能夠針對視訊進行快速查詢來進行探勘，可建立 9DST 索引結構，9DST 索引結構為具有雙階層的索引結構，以物件對為主軸，第一個階層是物件對編號的陣列，並且每一個物件對都有三個指標分別指向各自的方位關係陣列、拓樸關係陣列以及時序關

係陣列，9DST 索引結構表示如圖 1。

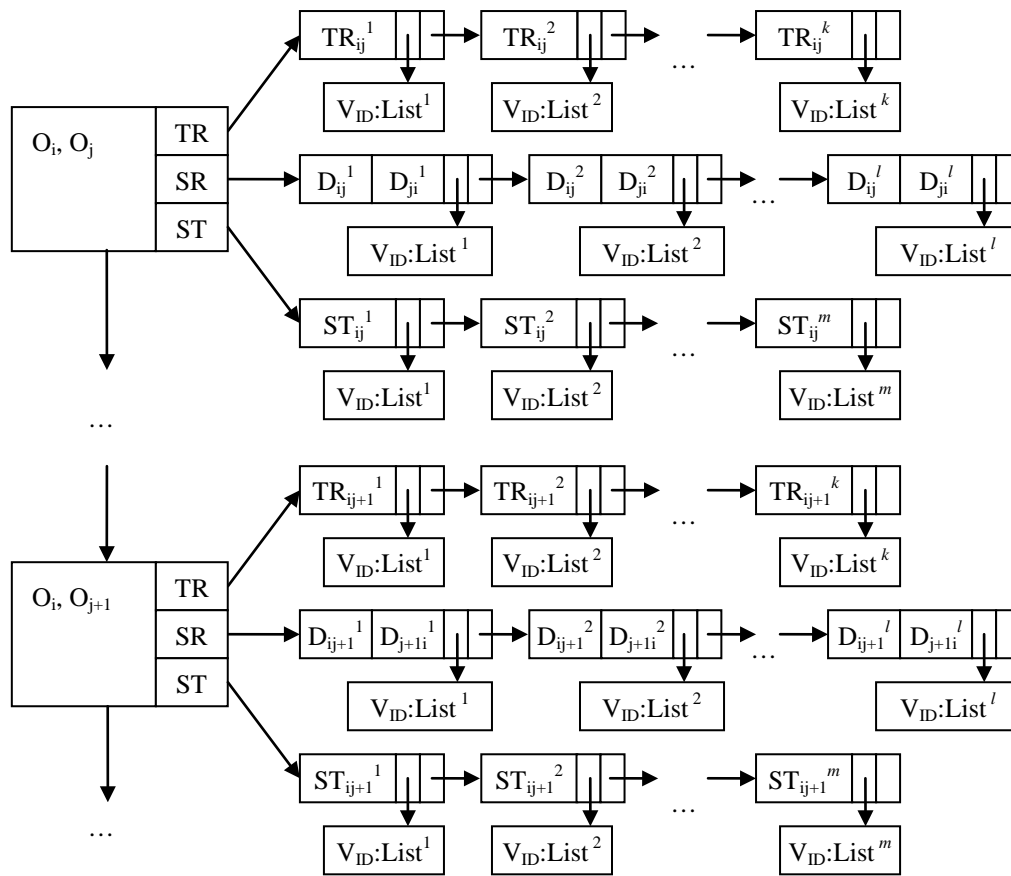


圖 1 9DST 檢索結構

4. 視訊頻繁樣式探勘演算法

在視訊資料庫中，除儲存視訊原始資料外，亦可利用上述 9DST 視訊表示法來儲存視訊物件間的各種時空關係，如此我們可以在查詢或探勘時將所需的視訊資料庫載入電腦的記憶體，並彈性的建立 9DST 索引結構，而不需將可能會超過記憶體容量的所有視訊載入，視訊的頻繁樣式表示如下：

$P = \{O_1, O_2, \dots, O_k, TR_{12}, TR_{13}, \dots, TR_{1k}, \dots, TR_{k(k-1)/2}, Sh_{12}, Sh_{13}, \dots, Sh_{1k}, \dots, Sh_{k(k-1)/2}, SR_{12}, SR_{13}, \dots, SR_{1k}, \dots, SR_{k(k-1)/2}\}$ ，其中 TR_{ij} 為物件對的在視訊中的時間關係， Sh_{ij} 為視訊鏡的視訊格起點(終點)，其相對應的空間及拓樸以 SR_{ij} 表示，並以為一 D_{ij} 、 D_{ji} 與 T_{ij} 所組成的串列，依序對應前述的視訊鏡並紀錄各項空間關係，其中 $D_{ij}(D_{ji})$ 表示物件 $j(i)$ 相對於物件 $i(j)$ 的 9 個方位的空間關係，如 9D-SPA 表示法， T_{ij} 則表示相對的 6 種空間拓樸關係，除如 9D-SPA 表示法外再增加一種“相等”的拓樸關係，且同樣以時序符號”|”區隔。

我們之前曾提出較簡單的時間拓樸探勘演算法，說明如何減少探勘時建立候選項目集，時間拓樸歸納視訊中物件間 13 種時間關係為 6 種，在時間拓樸演算法中，我們首先輸入物件索引表(OT)、由 9DST-string 視訊資料庫轉換的 9DST 索引結構(DI)、刪除不可能存在的推導時間拓樸關係以減少過多候選樣式的時間拓樸矩陣(M^{TP})、及使用者所訂定何謂頻繁的最小支持度(min_sup)，在演算法的最後即可輸出所有的時間拓樸頻繁樣

式(FP_{TP})，其中視訊物件的時間拓樸關係可由兩種已知的時間拓樸關係來推導，所產生的可能性彙總成時間拓樸推導關係表，如表 3 中 M^{TP} ，其可排除部份不可能存在的關係，以減少候選樣式的數量，進而降低探勘的成本，舉例來說，如視訊中物件 A 與 B 具部份重疊而 A 與 C 具覆蓋的關係，可以推導出 B 與 C 僅可能具有部份重疊與覆蓋的兩種可能，即可排除產生分離、相鄰及包含的候選樣式。由整體原先所產生 216 種候選樣式，可排除 108 種可能，約可減少 1/2 不必要的候選樣式。

表 3：時間拓樸推導表(M^{TP})

$TP_{kk'}$ \ TP_{ik}	分離 (0)	相鄰 (16)	部份重疊 (32)	包含 (64)	覆蓋 (128)	相等 (192)
分離(0)	all	0,16,32,128	0,16,32,64	0	0,16,32,128	0
相鄰(16)	0,16,32, 128	0,64,128,192	0,32,64	0	32,64	16
部份重疊(32)	0,16,32, 128	0,32,128	all	0,16,32,128	32,64	32
包含(64)	0	0	0,16,32,64	all	64	64
覆蓋(128)	0,16,32, 128	32,128	32,128	128	32,64,128, 192	128
相等(192)	0	16	32	128	64	192

表 4：時間關係推導表(M^{TR})

$TR_{kk'}$ \ TR_{ik}	<	<*	|	|*	/	/*	[	%	]	[*	%*	]*	=
<	0~12	0	0,2,4, 7,8	0	0,2,4, 7,8	0	0	0	0	0,2,4, 7,8	0,2,4 7,8	0	0
<*	1	0~12	1	1,3,5 6,7	1	1,3,5 ,6,7	1	1	1	1	1,3,5 ,6,7	1,3,5, 6,7	1
|	1,3,5, 10,11	0	6,9,12	1	4,7,8	0	0	0	2	4,7,8	4,7,8	2	2
|*	1	0,2,4, 9,10	1	8,11, 12	1	5,6,7	3	1	1	3	5,6,7	5,6,7	3
/	1,3,5, 10,11	0	5,10, 11	0	4~12	0,2,4	0,2,4	0,2,4 ,9,10	4,9, 10	4,7,8	4,7,8	4	4
/*	1	0,2,4, 9,10	1	4,9, 10	1,3,5	4~12	5,10, 11	1,3,5 ,7,10	1,3,5	5	5,6,7	5,6,7	5
[	1	0	1	2	1,3,5	4,7,8	7	1,3,5 ,10,11	1,3,5	6	7	7	8
%	1	0	1	0	1,3,5 ,6,7	0,2,4, 7,8	0,2,4, 7,8	0~12	1,3,5, 6,7	7	7	7	11
]	1	0	3	0	5,6,7	0,2,4	0,2,4	0,2,4, 9,10	8,11, 12	7	7	8	7
[*	1,3,5, 10,11	0	5,10,1 1	2	5,10, 11	4	9	10	10	6,9, 12	4,7,8	4	10
%*	1,3,5, 10,11	0,2,4, 9,10	5,10, 11	4,9,10	5,10, 11	5,9,10	10	10	10	5,10, 11	4~12	4,9, 10	6
]*	1	0,2,4, 9,10	3	4,9,10	5	5,9,10	10	10	11	5	5,6,7	8,11, 12	9
=	1	0	3	2	5	4	9	10	11	6	7	8	12

但時間拓樸無法表示出物件出現時先、後的關係，例如物件 A 及物件 B 具有”相鄰”時間拓樸，一種可能情形是物件 A 先出現，消失後，物件 B 緊接著出現，另一種可能則是物件 B 先出現，消失後，緊接著物件 A 出現，雖然在時間拓樸關係中是同一種拓樸關係，卻無法分辨哪一個物件消失和出現的順序。

時間關係探勘演算法

輸入:物件索引表(OT)、時間拓樸關係表(MTP)、最小支持度(min_sup)。

輸出:時間拓樸的頻繁項目集(FPTR)。

設頻繁項目集(FPTR)為空集合

搜索 OT，刪除不符合 min_sup 的物件，再建立出 9DST 索引結構(DI)

由 DI 找出長度為 2 的頻繁項目及其 video list (V)，加入 FPTP2

設定 k=2

While($FP_{TR}^k > 1$)時，執行下列步驟

For each FP_{TR}^k 中的時間頻繁項目 $p^k = \{O_1, O_2, \dots, O_k, TR_{12}, TR_{13}, \dots, TR_{1k}, \dots, TR_{k(k-1)/2}, V_p\}$

For each FP_{TR}^k 中與 p^k 可結合的時間頻繁項目 $q^k = \{O_1, O_2, \dots, O_{k'}, TR_{12}, TR_{13}, \dots, TR_{1k'}, \dots, TR_{k'(k'-1)/2}, V_q\}$

設 θ 為空集合，且 $i=1$

While($i=1$ 或 $\theta \neq \phi$ 且 $i < k$)

設 $p^2 = \{O_i, O_k, TR_{ik}, V_{p2}\}$ ， $q^2 = \{O_i, O_{k'}, TR_{ik'}, V_{q2}\}$ ，

利用 M^{TR} 找出所有可取的 $TR_{kk'}$ ，加入 Φ

$\theta = \theta \cup \Phi$

$i=i+1$

End while

If ($\theta \neq \phi$) **then**

令 $V = V_p \cup V_q$

For each θ 中的 $TR_{kk'} = tr$ ，執行下列步驟

建立一個候選項目集(fp^{k+1})，包含 p^k 、 q^k 及 tr

If(所有 fp^{k+1} 中的子項目均為頻繁)

搜尋 DI 找出 k, k', tr 及其 video list(V')

$V'' = V \cup V'$

If(V'' 個數 \geq min_sup) **then**

add fp^{k+1} to FP_{TP}^{k+1}

End If

End If

End For

End If

End For

End For

$FP_{TP} = FP_{TP} \cup FP_{TP}^{k+1}$

$k++$

End While

End

所以如需更精確的時間頻繁樣式，需利用更多樣的時間表示法，如表 2 中的 13 種時間關係。同樣的，亦可利用刪除不可能存在的推導時間關係以減少過多候選樣式的時間關係，推導出如表 4 的時間關係矩陣(M^{TR})。舉例來說，如視訊中物件 A 比物件 B 先出現，且在 B 出現前消失，即物件 A 及 B 間具有" $<$ "的前後時間關係，而物件 C 則較物件 A 早出現且在物件 A 出現前消失，即 A 與 C 具有" $<*$ "的時間關係，即可利用時間關係矩陣(M^{TR})來推導出 B 與 C 僅可能具有" $<$ "的 1 種時間關係，而排除另外 12 種可能需檢查的候選樣式。由表 4 中亦可得知，如原先全部可能需產生 2197 種候選樣式，將可排除其中 1728 種可能，剩下 469 種需檢查的候選樣式，約可減少 4/5 不必要的候選樣式，將能大幅減少不必要的資料庫來檢查。

在建立可減少候選樣式的時間關係矩陣後，即可運用 9DST 索引結構與 Apriori 演算法來進行探勘。使用 9DST 視訊表示法主要是它能夠將視訊的物件變化準確的標示，且在探勘過程中需要查詢資料時，它所產生的索引結構更快檢索出所需要的資料；而 Apriori 演算法則可將所有可能的候選頻繁樣式都探勘出來，再利用掃描資料庫進行篩選，故可藉由時間關係矩陣及 9DST 索引結構來減少產生候選樣式的數量及提昇掃描資料庫的效率。其詳細的流程如時間關係探勘演算法所示。

在時間關係探勘演算法中，我們輸入 DI、 M^{TR} 、及 min_sup，最後輸出所有時間關係頻繁樣式。首先我們由 OT 中產生長度為 1 的頻繁樣式， FP_{TR}^1 ，並產生包含個別頻繁樣式的視訊串列(Video List)，因 OT 中以簡化物件屬性的方式顯示視訊物件，故可快速的產生 FP_{TP}^1 。在 $k=1$ 的迴圈下，我們產生長度為 2 的候選樣式，並檢查是否為頻繁，並在接下來的每個 $k+1$ 迴圈中，利用上一迴圈所產生長度為 k 的頻繁樣式 FP_{TR}^k ，因其中物件的樣式均已以設定的次序排序(如數字大小或英文字母順序)，故我們依序處理 FP_{TR}^k 中的頻繁樣式，我們每次處理具順序的二個可結合頻繁樣式，所謂可結合是以其所具有除最後一個物件以外其餘物件編號及所具有時間關係均相同的頻繁樣式，接著我們利用每一個前 $k-1$ 物件與最後剩餘兩個物件間利用已知的時間關係由 M^{TR} 找出可能具有的時間拓撲關係，並予以交集排除不可能的結果後，將其加入 Φ 中，再由 9DST 索引結構對其有此些物件時間關係的視訊串列進行交集，如所產生的視訊串列交集節點數量小於 min_sup，則將其丟棄，因在 Apriori 的 anti-monoton 性質中，如任一子集關係小於最小支持度，即表示其母集合不具備頻繁的特性，最後如所有關係均符合頻繁的特性，即可將其加入 FP_{TP}^{k+1} 中，再進行下一輪的迴圈，如 FP_{TP}^{k+1} 的數量大於 1，即可再重覆上述的步驟產生更長的頻繁樣式。由上述的說明可知在探勘物件間時間關係的可行性，本演算法亦可擴展為探勘更複雜的物件間各階層的空間關係。

5. 效能分析

目前本研究已完成基本的 9DST 視訊資料庫雛形系統，具有以下幾種功能：建立模擬視訊資料庫、建立物件索引表、還原視訊、建立 9DST-string 及 9DST 索引結構等。在建立模擬視訊資料庫功能中，可設定模擬視訊的相關控制變數，如視訊框數量、物件數量、及物件變化數量等，其餘參數，如物件大小、位置、及出現消失的視訊框編號等，則以隨機方式產生，本研究並以此雛型系統進行時間關係探勘演算法的初步效能測試。

在效能分析上主要是針對物件數量(N)及視訊數量(V)等參數的變化來檢驗系統的效能，例如建立物件索引表、還原視訊、建立 9DST-string，及 Apriori-like 的視訊探勘演算法等。在建立物件索引表效能上，首先檢測物件數量(N)及視訊數量(V)對於建立物件索引表的影響，由結果顯示，當物件增加時執行時間也增加，呈現線性成長的關係。在還原視訊效能分析上，物件數量(N)增加時執行時間也增加，在視訊數量(V)亦呈現相同的情形，均為線性關係。在建立 9DST-string 的實驗上，同樣的視訊數量(V)及物件數量(N)的增加均呈現線性的趨勢，但在物件數量(N)變化上，因物件對的數量為 $N * (N - 1) / 2$ ，故物件數量增加時，物件對的數量呈現平方的成長，同樣的執行時間亦呈現此情形。而在探勘演算法上，實驗結果顯示 Apriori-like 演算法，仍具有產生過多候選樣式數量的問題，使得在最小支持度的實驗中候選項目集的計算成本呈現指數型大量增加的情形，而在視訊數量及物件數量增加的實驗亦顯示類似的結果。在先期的研究文獻中顯示如要找出所有可能的頻繁樣式為 NP-hard 的問題，本研究的實驗結果亦顯示相同的情形，預期如採用另一項封閉式探勘演算法，來減少候選樣式產生過多的問題應能對稀疏的視訊物件資料庫有較好的計算成本降低效果。

6. 結論

在現有的研究中，可發現使用自動模式來擷取視訊語意的多數研究，在沒有人工介入下，仍無法有效的自動從視訊資料萃取出視訊物件空間及時間特徵，可行的方式仍為使用已事先建構好的特定領域知識並與自動解析擷取該領域語意的技術結合，才可能在有限定條件下自動的切割物件，但仍需人工介入方能有效的建立其間的時空關係。基於上述困難，本研究預設已由視訊中建構圖示化的 MBR 物件，並由此產生簡化的 9DST 視訊表示法來建立資料庫，以便於實施視訊頻繁樣式探勘。

此外，如何顯示視訊頻繁樣式探勘的成果，也是視訊資料庫必須提供的一個重要特徵，特別是在以代數和邏輯表示空間關係的頻繁樣式時，如僅提供描述和形式化的瀏覽介面時，對使用者而言，可能無法理解其中所代表的意義，使用上將具有一定程度的困難，所以如何使用的一個直覺界面來提供視覺上頻繁樣式探勘成果的顯示，也是在建構探勘視訊資料庫時的挑戰。此外，9DST 視訊表示法在表示視訊原始資料的時空模型時，在本質上因使用 metadata 的抽象化表示，仍具有某種程度的不精確性，為適應這樣的不精確性，在視訊頻繁樣式探勘時，本文亦利用時空關係的不同水準精確度，由時間拓撲、時間關係、空間拓撲到空間關係的多階段及多層次的視訊繁樣式探勘演算法來解決表示法中不精確的問題，並提供更具彈性的方法。最後實驗的結果顯示，在視訊資料庫的產生、還原視訊、建構 9DST-string、及 9DST 索引結構的實驗結果上，均如預期的呈現線性或是 $O(n^2)$ 的時間複雜度，但在探勘的實驗結果上，卻仍顯示具有 NP-hard 的複雜度，在針對較多視訊或是具有長樣式的資料庫時，將會造成影響，預期未來將使用封閉式樣式探勘演算法，來降低其中可能的影響，以使視訊資料庫的探勘能更具使用價值。

參考文獻

- [1] Agrawal, R. C., Imielinski, T., and Swami, A., "Mining association rules between sets of items in large databases," *Proc. of ACM-SIGMOD Intl. Conf. on Management of Data*, Washington, D.C., 1993, pp. 207-216.
- [2] Agrawal, R. C., and Srikant, R., "Fast algorithms for mining association rules," *Proc. of Intl. Conf. on Very Large Data Bases*, Santiago, Chile, 1994, pp. 487-499.
- [3] Huang, P.-W. and Lee, C.-H., "Image Database Design Based on 9D-SPA Representation for Spatial Relations," *IEEE Tran. on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 16, No. 12, DEC. 2004, pp. 1468-1496.
- [4] Lee, A. J. T., Chiu, H. P., Yu, P., "3D C-string: a new spatio-temporal knowledge structure for video database systems," *Pattern Recognition*, vol. 35, 2002, pp. 2521-2537.
- [5] Lee, A. J. T., Liu, Y.-H., Tsai, H.-M., Lin, H.-H., Wu, H.-W., "Mining frequent patterns in image databases with 9D-SPA representation," *Journal of Systems and Software*, Vol. 82, 2009, pp. 603-618.
- [6] Lee, A. J. T., Yu, P., Chiu, H.P., "3D Z-string: a new knowledge structure to represent spatio-temporal relations between objects in a video," *Pattern Recognition Letter*, to be published.
- [7] Lee, S. Y., Hsu, F. J., "2D C-string: a new spatial knowledge representation for image database system," *Pattern Recognition*, vol. 23, 1990, pp. 1077-1087.
- [8] Overview of the MPEG-4 Standard, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Mar 2001.
- [9] Wang, Y., "Image indexing and similarity retrieval based on spatial relationship model," *Information Sciences*, Vol. 154, 2003, pp. 39-58.