

Restriccions d'Integritat Temporals en Bases de Dades Deductives Bitemporals.

Carme Martín Escofet

Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics.
Jordi Girona Salgado 1-3. Mòdul C6. 08034-Barcelona.
Universitat Politècnica de Catalunya.
martin@lsi.upc.es

Resum. L'objectiu d'aquest treball és presentar una classificació de restriccions d'integritat temporals, exclusivament per l'entorn de bases de dades deductives bitemporals, que ens ajudi a entendre millor la seva necessitat, el seu comportament i quina és la millor manera de definir-les utilitzant lògica de primer ordre. Per assolir això s'han estudiat les classificacions de restriccions d'integritat temporals existents en l'àrea de bases de dades temporals i àrees molt relacionades amb aquesta com és la de bases de dades multiversió. Per tant, els treballs analitzats han estat adaptats i desenvolupats per cobrir l'àmbit de les bases de dades deductives bitemporals.

1. Introducció.

Per analitzar en profunditat el problema de la comprovació de la integritat en bases de dades deductives bitemporals, bd-dbts a partir d'ara, ens proposem fer un estudi el més complet possible dels tipus de restriccions d'integritat temporals que es poden arribar a donar. Molts autors en moltes àrees d'investigació, però especialment en bases de dades temporals [WJW98], han utilitzat el concepte de restricció d'integritat "temporal", per exemple [GL95], [CT95] i [CP00]. Però en cap d'aquests treballs ni en la majoria de molts altres s'ha utilitzat el concepte de restricció d'integritat temporal amb totes les seves possibilitats, si no que simplement s'han anomenat "temporals" perquè en la seva definició apareixia alguna referència temporal. S'ha de dir també que en aquests treballs l'objectiu no era l'estudi de les restriccions d'integritat temporals si no la seva utilització en algun problema o entorn concret. Fins el moment l'estudi més complet realitzat sobre restriccions d'integritat temporals en l'àrea de bases de dades temporals ha estat la classificació d'en Michel Böhlen [Böh94b], revisada i actualitzada recentment per en Richard Snodgrass [Sno99]. Una altra classificació molt interessant de restriccions d'integritat temporals des d'un punt de vista diferent i dins de l'àrea de versions de bases de dades, molt propera a la de bases de dades temporals, és la de Anne Doucet i altres autors [DFG+97]. En els apartats

següents, partint d'aquests dos darrers articles, anirem construint la nostra classificació de restriccions d'integritat temporals per bd-dbts.

Les bd-dbts, conceptualment, no són més que bases de dades deductives amb un terme més en els predicats bàsics i derivats, definit sobre un domini bitemporal. Una bd-dbt D consisteix en tres conjunts finits: un conjunt de fets F , un conjunt de regles de deducció R , i un conjunt de restriccions d'integritat temporals I . El conjunt de fets s'anomena *base de dades extensional* (BDE) mentre que el conjunt de regles de deducció i restriccions d'integritat temporals s'anomena *base de dades intensional* (BDI) [BR86]. Fets, regles i restriccions d'integritat temporals es formulen en el següent llenguatge de lògica de primer ordre:

Les constants són caràcters, números o punts de temps.

Els punts de temps pertanyen a un domini temporal τ . τ és isomòrfic al conjunt de nombres naturals, sobre el que es defineix l'ordre (total) lineal $<_{\tau}$, on $t_i <_{\tau} t_j$ vol dir que t_i es dona abans de t_j . El conjunt τ és la base per incorporar les dimensions temporals discretes a la base de dades deductiva utilitzant un punt de temps vàlid d'inici, un punt de temps vàlid de finalització, un punt de temps de transacció d'inici i un punt de temps de transacció de finalització. El temps vàlid és el temps en que la realitat es modelada i el temps de transacció és el temps d'emmagatzemament a la base de dades.

Els identificadors són seqüències arbitràries de caràcters que comencen amb una lletra i poden contenir lletres i números. Les variables es denoten com identificadors que comencen amb una lletra majúscula.

Els predicats són identificadors que comencen amb una lletra minúscula. Alguns símbols de predicats són predefinitos com és el cas dels operadors de comparació que s'utilitzen habitualment: $=, <, >, \leq, \geq$ i \neq .

Un terme és una constant o una variable. Si a_1, \dots, a_n són termes i p és un predicat n -àri aleshores $p(a_1, \dots, a_n)$ és un àtom. Tot àtom és una fórmula. A més, si ϕ i ψ són fórmules aleshores, $\phi \wedge \psi, \phi \vee \psi, \neg\phi, \phi \rightarrow \psi$ també són fórmules.

Un fet és un àtom tancat. Es diu que un àtom és tancat si totes les seves variables són lliures. Una regla de deducció és una fórmula de la forma:

$$P \leftarrow L_1 \wedge \dots \wedge L_n \quad \text{amb } n \geq 1,$$

on l'àtom P s'anomena conclusió de la regla i $L_1 \wedge \dots \wedge L_n$ són literals que representen condicions. Un literal és un àtom o un àtom negat. Totes les variables a $P, L_1 \wedge \dots \wedge L_n$ s'assumeixen universalment quantificades davant la fórmula.

Una restricció d'integritat és una fórmula tancada de primer ordre que qualsevol estat de la base de dades ha de satisfer. Nosaltres treballarem amb restriccions que tenen forma de denegació. Per motius d'uniformitat, associarem a cada restricció d'integritat un predicat d'inconsistència I_{cn} (de la mateixa manera que [DW89] i [Kow78]). Així, les restriccions tenen la mateixa forma que les regles de deducció:

$$I_{cn} \leftarrow L_1 \wedge \dots \wedge L_n \quad \text{amb } n \geq 1.$$

Com és habitual requerirem que la bd-dbt sigui *permissible* abans i després de qualsevol modificació [Llo87], i a més treballarem amb bases de dades *estratificades* [ABW88].

Aplicarem aquest llenguatge de lògica de primer ordre sobre un exemple d'una facultat d'informàtica que ofereix assignatures en les que es matriculen els estudiants i que presentem a l'apartat 3 d'aquest article.

Abans de començar a tractar el tema de les restriccions d'integritat temporals presentarem alguns conceptes de bases de dades temporals [JCG+92] que s'utilitzaran d'ara en endavant. Un *instant* és un punt en un eix de temps. Anomenem *interval de temps* al temps entre dos instants. Un *cronon* és un interval de temps de mínima durada no descomposable. Un instant és pot representar, doncs, per un cronon, però un cronon pot en canvi representar múltiples instants. Per tant, un interval de temps és pot veure també com un conjunt de cronons contigus. En bases de dades en temps vàlid i en temps de transacció tenim una única dimensió temporal i per tant els elements temporals es situen sobre l'únic eix de temps. En bases de dades bitemporals, en canvi, els instants, cronons i intervals de temps es defineixen amb dues dimensions de temps, i per tant hem de parlar d'*elements bitemporals*. Els punts d'inici i finalització del temps vàlid i els punts d'inici i finalització del temps de transacció representen cronons bitemporals en una regió rectangular anomenada *rectangle bitemporal* [TCG+93]. Podem veure la representació gràfica d'aquests conceptes en bd-dbts a la figura 1.

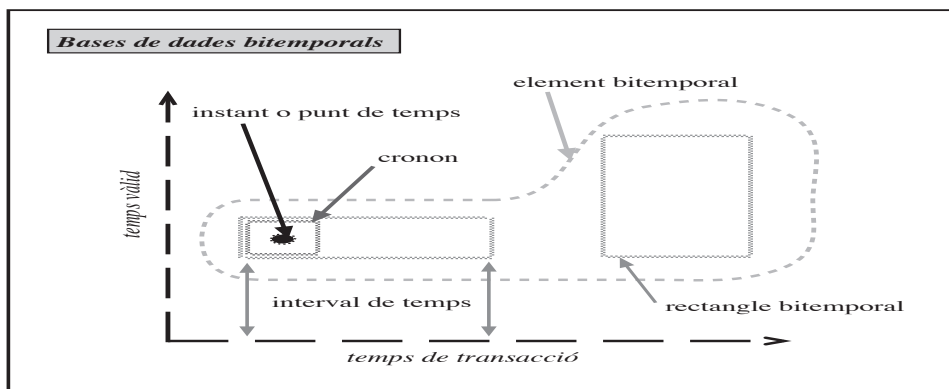
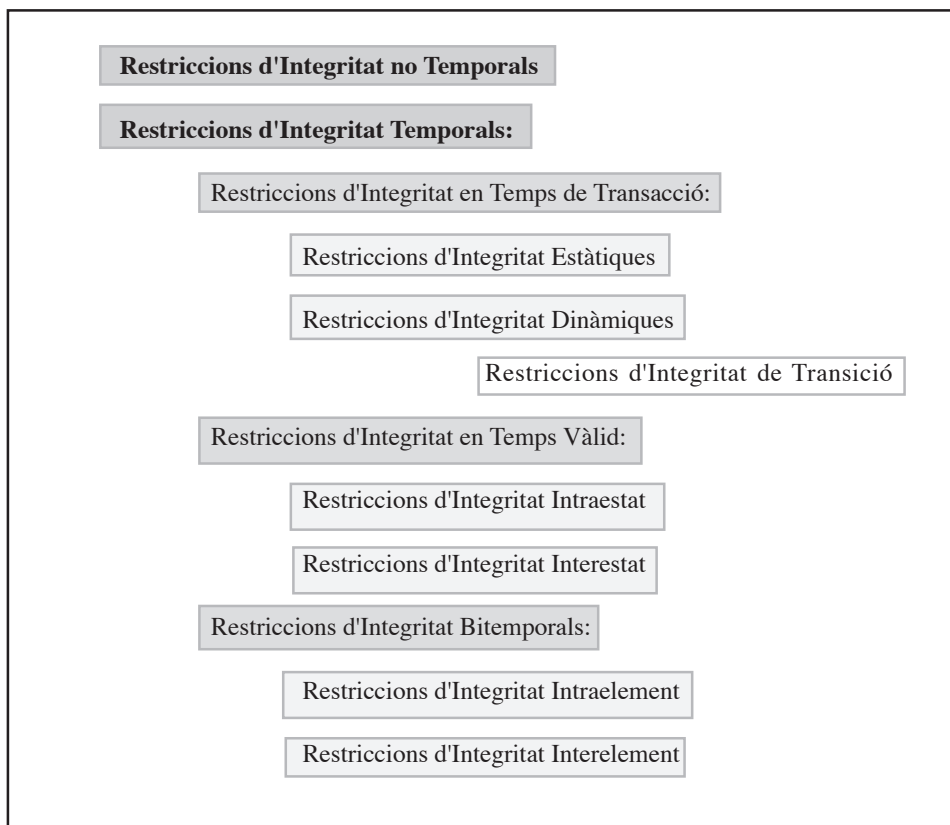


Figura 1. Conceptes de bases de dades temporals.

Parlarem del temps *Actual* per referir-nos al temps de transacció en el que ens trobem en aquests moments. Quan un temps vàlid encara no es coneix i es vol utilitzar la idea que és vàlid per sempre utilitzarem el concepte de: *Ara*. De la mateixa manera quan un temps de transacció és vàlid mentre no s'esborri lògicament utilitzarem el concepte de: *FNC (Fins a Nous Canvis)*. Aquests tres darrers conceptes encara que ja existents en l'àrea de bases de dades temporals [JCG+92] ja s'introdueixen en aquest treball en la darrera nova nomenclatura apareguda [CDI+97].

2. Restriccions d'Integritat Temporals.

En aquest apartat analitzarem les restriccions d'integritat temporals seguint la taxonomia presentada a [Böh94b]:



A la primera classificació d'aquesta taxonomia es separen les restriccions d'integritat entre temporals i no temporals. Les restriccions d'integritat no temporals són restriccions d'integritat convencionals que no treballen ni amb temps vàlid ni amb temps de transacció. Les restriccions d'integritat temporals poden alhora dividir-se en tres grups segons si les propietats que han de fer

complir involucren temps vàlid, temps de transacció o tots dos temps (bitemporals). Aquestes tres classificacions poden descomposar-se alhora en una nova subdivisió segons si fan referència a un únic temps o a varis. En bd-dbts ens podem trobar amb qualsevol dels tres tipus de restriccions d'integritat temporals segons si:

- Les restriccions d'integritat estan definides en un temps vàlid determinat i l'àmbit de la restricció ve donat per diferents punts de temps de transacció. En aquest cas tenim restriccions d'integritat en temps de transacció. L'àmbit d'una restricció d'integritat en temps de transacció es pot veure a la figura 2.a.

- Les restriccions d'integritat estan definides en un temps de transacció determinat i l'àmbit de la restricció ve donat per diferents punts de temps vàlid. En aquest cas tenim restriccions d'integritat en temps vàlid. L'àmbit d'una restricció d'integritat en temps vàlid es pot veure a la figura 2.b.

- Les restriccions d'integritat estan definides per diferents punts de temps vàlid i diferents punts de temps de transacció. En aquest cas tenim restriccions d'integritat bitemporals. L'àmbit d'una restricció d'integritat bitemporal es pot veure a la figura 2.c.

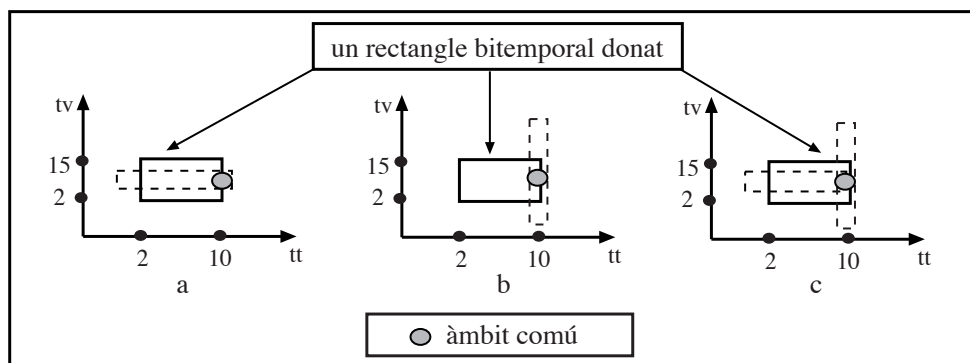


Figura 2. Les línies discontinues indiquen l'àmbit de les diferents restriccions d'integritat temporals per un rectangle bitemporal concret. El símbol \odot mostra l'àmbit comú de tres tipus de restriccions d'integritat temporals, que concretament serà l'àmbit de les restriccions d'integritat estàtiques, intraestat i intraelement.

Una restricció d'integritat temporal estarà formada per predicats bàsics, predicats derivats i predicats predefinits de comparació. Els predicats predefinits de comparació es poden aplicar a termes de predicats bàsics o derivats i a constants, però també ens serviran per expressar condicions temporals. A la figura 3 [Böh94a] podem veure com els tretze operadors temporals d'Allen [All83] es poden expressar en termes de punts de temps d'inici i de finalització, tal com nosaltres els utilitzarem.

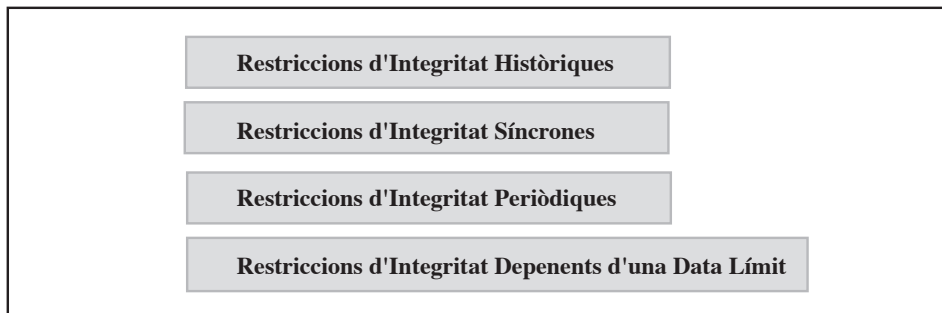
Evidentment els tretze predicats temporals d'Allen es poden combinar entre ells donant lloc a noves formalitzacions que no apareixen a la figura 3. Per exemple, de vegades ens interessarà el predicat A durant B però no ens importaria que fos A starts B o A ends B o A equals B. Si utilitzem els predicats temporals d'Allen

hauríem d'utilitzar *during*, *starts*, *ends* i *equals* per poder expressar el que volem. En aquest cas nosaltres posaríem directament $A.inici \geq B.inici \wedge A.fi \leq B.fi$.

predicats	gràficament	formalment
A before B		$A.fi < B.inici$
A after B		$A.inici > B.fi$
A precedes B		$A.fi = B.inici$
A follows B		$A.inici = B.fi$
A during B		$A.inici > B.inici \wedge A.fi < B.fi$
A contains B		$A.inici < B.inici \wedge A.fi > B.fi$
A equals B		$A.inici = B.inici \wedge A.fi = B.fi$
A overlaps B		$A.fi > B.inici \wedge A.inici < B.inici \wedge A.fi < B.fi$
A overlapped_by B		$A.inici > B.inici \wedge A.inici < B.fi \wedge A.fi > B.fi$
A starts B		$A.inici = B.inici \wedge A.fi < B.fi$
A started_by B		$A.inici = B.inici \wedge A.fi > B.fi$
A ends B		$A.inici > B.inici \wedge A.fi = B.fi$
A ended_by B		$A.inici < B.inici \wedge A.fi = B.fi$

Figura 3. Els tretze predicats temporals d'Allen expressats amb punts de temps d'inici i de finalització.

Abans de començar a entrar en detall en la taxonomia de [Böh94b] estudiarem les possibles motivacions semàntiques de les restriccions d'integritat seguint les pautes introduïdes a [DFG+97]:



- Restriccions d'integritat històriques.

Aquest tipus de restriccions d'integritat només poden passar si certes condicions es compleixen. Per exemple: una persona ha de ser estudiant per poder-se matricular d'un curs.

A aquest tipus de restriccions nosaltres les anomenarem *restriccions d'integritat per condicions*.

- Restriccions d'integritat síncrones.

Les restriccions d'integritat síncrones fan que les diferents condicions de la restricció es compleixin al mateix temps sempre. Per exemple: si un estudiant canvia de telèfon, ha de canviar també d'adreça.

Dins de les restriccions d'integritat síncrones nosaltres afegirem una nova classificació entre si són *síncrones en temps vàlid* o *en temps de transacció*.

- Restriccions d'integritat periòdiques.

Les condicions a complir per la restricció d'integritat són periòdiques. S'han de complir cada setmana, cada mes, cada any, ... Per exemple: el preu de les assignatures s'incrementarà cada any.

Dins de les restriccions d'integritat periòdiques nosaltres afegirem una nova classificació entre si són *periòdiques en temps vàlid* o *en temps de transacció*.

- Restriccions d'integritat dependents d'una data límit.

Les condicions a complir per la restricció d'integritat tenen una data límit. Per exemple: un estudiant s'ha de matricular durant els 10 dies següents a l'oferta de l'assignatura, si no ja no es podrà matricular aquest curs.

Dins de les restriccions d'integritat dependents d'una data límit nosaltres afegirem una nova classificació entre si són *dependents d'una data límit en temps vàlid* o *en temps de transacció*.

Aquest quatre criteris de [DFG+97], convertits en set en el nostre cas, combinats amb la taxonomia de [Böh94b] ens ajudaran a entendre millor cada tipus de restricció d'integritat.

3. Exemple.

A continuació presentem els predicats bàsics, regles de deducció i restriccions d'integritat temporals de l'exemple d'una facultat d'informàtica que ens ajudarà a il·lustrar el comportament de les diferents restriccions d'integritat temporals.

Predicats Bàsics.

$assignatures(C,P,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te})$ expressa que " C és un curs amb un cost P , ofert per la universitat des de temps vàlid T_{vs} fins a temps vàlid T_{ve} i des de temps de transacció T_{ts} fins a temps de transacció T_{te} ".

$estudiants(S, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te})$ expressa que "S és un estudiant de la universitat des de temps vàlid T_{vs} fins a temps vàlid T_{ve} i des de temps de transacció T_{ts} fins a temps de transacció T_{te} ".

$matrícula(S, C, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te})$ expressa que "un estudiant S està matriculat en el curs C des de temps vàlid T_{vs} fins a temps vàlid T_{ve} i des de temps de transacció T_{ts} fins a temps de transacció T_{te} ".

Regles de Deducció.

$més_d'un_estudiant(C, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \leftarrow$
 $matrícula(S1, C, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge matrícula(S2, C, T_{vs}, T_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \wedge$
 $S1 \neq S2 \wedge intersec(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te})$.

El predicat derivat $més_d'un_estudiant(C, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te})$ expressa que "en un curs C hi haurà més d'un estudiant si, com a mínim, hi ha matriculats dos estudiants diferents des de temps vàlid T_{vs} fins a temps vàlid T_{ve} i des de temps de transacció T_{ts} fins a temps de transacció T_{te} , on el període de temps de transacció serà la intersecció entre el període de temps de transacció de matrícula de l'estudiant S1 i el de l'estudiant S2".

En aquesta regla de deducció apareix per primer cop la idea de la intersecció entre dos intervals de temps. La intersecció la podem definir amb les regles de deducció següents:

$intersec(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow int1(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te})$.

$intersec(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow int2(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te})$.

$intersec(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow int3(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te})$.

$intersec(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow int4(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te})$.

$int1(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow T1_{ts} \geq T2_{ts} \wedge T1_{te} \leq T2_{te} \wedge T_{ts} = T1_{ts} \wedge$
 $T_{te} = T1_{te}$.

$int2(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow T1_{ts} < T2_{ts} \wedge T1_{te} > T2_{te} \wedge T_{ts} = T2_{ts} \wedge$
 $T_{te} = T2_{te}$.

$int3(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow T1_{ts} < T2_{ts} \wedge T1_{te} < T2_{te} \wedge T1_{te} \geq T2_{ts} \wedge$
 $T_{ts} = T2_{ts} \wedge T_{te} = T1_{te}$.

$int4(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}) \leftarrow T1_{ts} > T2_{ts} \wedge T1_{te} > T2_{te} \wedge T1_{ts} \leq T2_{te} \wedge$
 $T_{ts} = T1_{ts} \wedge T_{te} = T2_{te}$.

A la figura 4 podem veure la representació gràfica corresponent a les quatre regles que defineixen la intersecció.

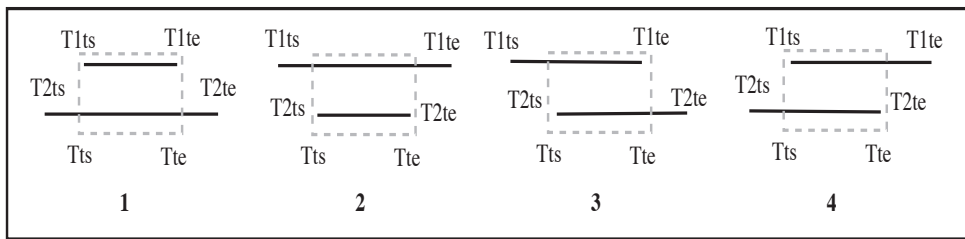


Fig. 4. Representació gràfica dels casos en que es pot donar intersecció entre intervals de punts de temps.

Restriccions d'Integritat Temporals.

$ic1 \leftarrow assignatures(C,P,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge P < 10000.$

$Ic1$ fa complir la propietat següent: "per a què un curs C s'ofereixi ha de costar, com a mínim, 10000 pessetes".

$ic2 \leftarrow matrícula(S,C,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge$

$\neg assignatures(C,P,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge T_{ts} \geq T_{ts} \wedge T_{te} \geq T_{te}.$

$Ic2$ fa complir la propietat que: "un estudiant S només es pot matricular en un curs C si aquest curs C s'ofereix".

$ic3 \leftarrow matrícula(S,'bases de dades',T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge$

$matrícula(S,'enginyeria del software',T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge T_{ve} \geq T_{vs}.$

$Ic3$ fa complir la propietat que: "quan un estudiant S es matricula en el curs *bases de dades*, si aquest estudiant S ja fa també, en el mateix temps de transacció, la matrícula en el curs *enginyeria del software*, aquesta segona matrícula l'ha de fer en un temps vàlid anterior".

$ic4 \leftarrow assignatures(C,P,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge$

$assignatures(C,P1,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge P1 < P \wedge T_{ve} < T_{vs} \wedge T_{ts} - 10 > T_{ts}.$

$Ic4$ fa complir la propietat que: "si un curs C s'ha ofert amb un preu donat, només durant els propers 10 dies aquest curs es podrà oferir amb un temps vàlid posterior a l'anterior i amb un preu menor que el que havíem donat inicialment. Després d'aquests 10 dies aquest curs no es podrà oferir amb un preu menor que el que originàriament havíem donat".

$ic5 \leftarrow més_d'un_estudiant(C,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge$

$\neg més_d'un_estudiant(C,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge T_{ts} > T_{te}.$

Ic5 fa complir la propietat que: "si un curs *C* té més d'un estudiant en algun moment no pot ser que en el futur aquest curs *C* no tingui més d'un estudiant".

4. Restriccions d'Integritat en Temps de Transacció.

Les restriccions d'integritat en temps de transacció estan definides en un temps vàlid determinat i l'àmbit de la restricció ve donat pels punts de temps de transacció. Poden ser estàtiques o dinàmiques. Les restriccions estàtiques fan referència a un únic punt de temps de transacció, concretament el punt de temps *Actual*, mentre que les restriccions dinàmiques es defineixen entre dos punts de temps de transacció, un dels quals ha de ser forçosament l'*Actual*. Les restriccions de transició són un cas particular de restriccions dinàmiques entre dos punts de temps de transacció consecutius.

4.1. Restriccions d'Integritat Estàtiques.

Les restriccions d'integritat estàtiques es caracteritzen per tenir un mateix període de temps vàlid i s'han de fer complir en el punt de temps de transacció *Actual*. En certa manera les restriccions estàtiques es poden considerar com les restriccions no temporals dins de la classificació de restriccions temporals. *Ic1* és un exemple d'aquest tipus de restricció.

Les restriccions d'integritat intraestat i intraelement també són restriccions d'integritat convencionals o no temporals com és el cas de les restriccions d'integritat estàtiques. La distinció entre aquests tres tipus de restriccions d'integritat és interessant que es faci, ja que les restriccions d'integritat estàtiques pertanyen a la classificació de restriccions d'integritat en temps de transacció, les intraestat a la de temps vàlid i les intraelement a les bitemporals. D'aquesta manera si treballéssim amb bases de dades en temps de transacció només tindríem restriccions d'integritat estàtiques, dinàmiques o de transició. Si les bases de dades utilitzades fossin en temps vàlid aleshores les restriccions podrien ser intraestat o interestat. Només en el cas de bases de dades bitemporals es poden donar tots els tipus de restriccions d'integritat temporals i és precisament en aquest cas, el nostre cas, quan coincideixen les restriccions estàtiques, intraestat i intraelement. L'àmbit, doncs, d'aquest tres tipus de restriccions d'integritat el podem veure a la figura 5, que es correspon exactament amb l'àmbit comú que havíem mostrat a la figura 2.

Analitzem una restricció d'integritat estàtica, intraestat o intraelement, com és el cas per exemple d'*ic1*:

$ic1 \leftarrow signatures(C,P,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge P < 10000.$

IcI s'haurà de comprovar en temps de transacció *Actual* i haurà de complir-se des de temps vàlid T_{vs} fins a temps vàlid T_{ve} . *IcI* es podria violar si en temps de transacció *Actual*:

- Una transacció inserís un curs que costés menys de 10000.

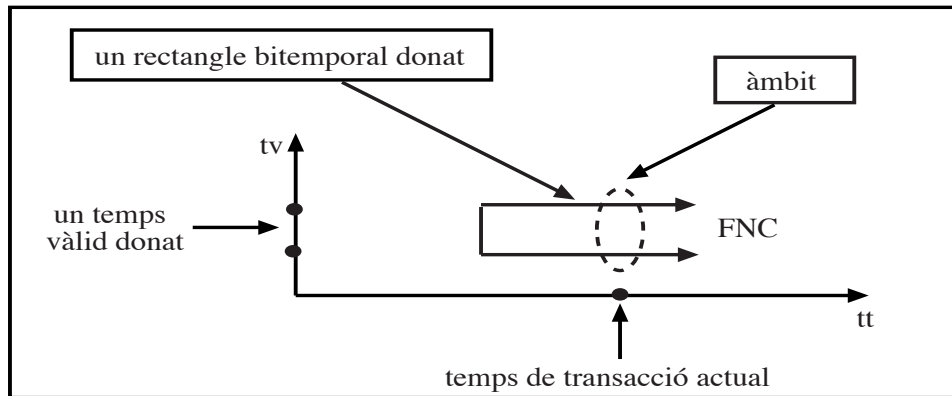


Fig. 5. Àmbit de les restriccions d'integritat estàtiques, intraestat i intraelement.

Una restricció d'integritat estàtica només pot ser de tipus per condicions, ja que si fos del tipus de restriccions síncrones en temps de transacció, periòdiques en temps de transacció o depenents d'una data límit en temps de transacció hauria de fer alguna referència al temps de transacció passat i aleshores deixaria de ser una restricció d'integritat estàtica per passar a ser dinàmica. I si fos del tipus de restriccions síncrones en temps vàlid, periòdiques en temps vàlid o depenents d'una data límit en temps vàlid hauria de fer alguna referència al temps vàlid passat i aleshores deixaria de ser una restricció d'integritat estàtica per passar a ser interestat. Per tant, *icI* ha de ser una restricció d'integritat estàtica per condicions i efectivament ho és perquè hi ha una condició que s'ha de fer complir.

A més de ser només per condicions una restricció d'integritat estàtica té un àmbit delimitat per un mateix temps vàlid d'inici i de finalització i un mateix temps de transacció d'inici i de finalització en tots els predicats que apareixin a la definició la restricció, si no fos així s'hauria d'expressar quina relació hi ha entre els diferents temps vàlids i/o de transacció i la restricció d'integritat deixaria de ser estàtica per passar a ser dinàmica, interestat o interelement.

4.2. Restriccions d'Integritat Dinàmiques.

Les restriccions d'integritat dinàmiques es caracteritzen per tenir un mateix període de temps vàlid i s'han de fer complir en diferents punts de temps de transacció, sent un d'ells el temps de transacció *Actual*. A la figura 6 podem veure l'àmbit el més genèric possible de les restriccions d'integritat dinàmiques.

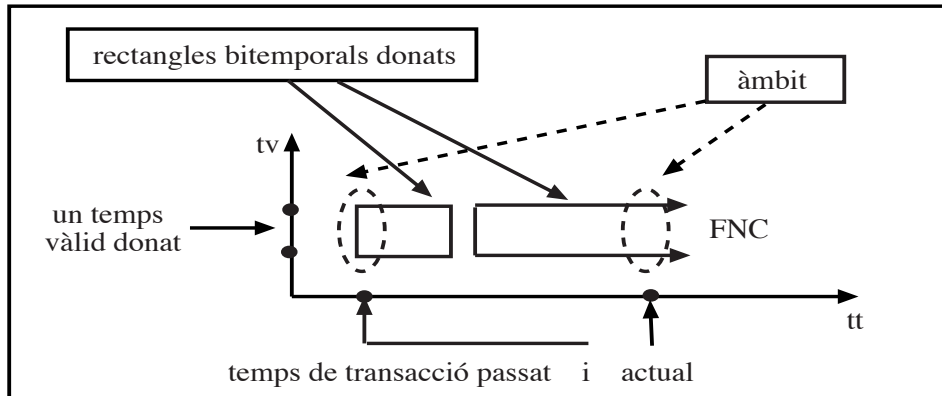


Fig. 6. Àmbit de les restriccions d'integritat dinàmiques.

$ic2$ és un exemple de restricció d'integritat dinàmica:

$$ic2 \leftarrow \text{matrícula}(S, C, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge$$

$$\neg \text{assignatures}(C, P, T_{vs}, T_{ve}, Tl_{ts}, Tl_{te}) \wedge T_{ts} \geq Tl_{ts} \wedge Tl_{te} \geq T_{te}.$$

Si analitzem $ic2$ veiem que a diferència d' $ic1$ ara per comprovar aquesta restricció d'integritat hem de tenir en compte dos temps de transacció diferents. Concretament $ic2$ es podria violar si en temps de transacció *Actual*:

- Una transacció inserís una matrícula en un curs inexistent sense que s'inserís el curs especificat en aquesta matrícula.
- Una transacció esborrés un curs en el que s'han fet matrícules que no s'estan esborrant en la transacció actual.
- Una transacció inserís una matrícula en un curs que en la mateixa transacció s'estava esborrant i no es tornava a inserir.

Amb aquesta restricció d'integritat no hi ha cap altre possibilitat de violació ja que tota referència al passat invalida que una transacció realitzada en temps de transacció *Actual* la pugui afectar.

Una restricció d'integritat dinàmica pot ser de tipus per condicions, síncrona en temps de transacció, periòdica en temps de transacció i depenent d'una data límit en temps de transacció. $ic2$ és concretament una restricció d'integritat dinàmica per condicions perquè defineix unes condicions que s'han de fer complir.

En les restriccions d'integritat dinàmiques els predicats de la definició de la restricció tenen el mateix temps vàlid d'inici i finalització, però diferents temps de transacció d'inici i finalització.

$ic5$ també és un exemple de restricció d'integritat dinàmica, però en aquest cas veiem un exemple on apareixen predicats derivats a la definició de la restricció:

$ic5 \leftarrow més_d'un_estudiant(C, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge$
 $\neg més_d'un_estudiant(C, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T1_{ts} > T_{te}.$

On la regla de deducció de *més_d'un_estudiant* era:

$més_d'un_estudiant(C, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \leftarrow$
 $matrícula(S1, C, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge matrícula(S2, C, T_{vs}, T_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \wedge$
 $S1 \neq S2 \wedge intersec(T_{ts}, T_{te}, T1_{ts}, T1_{te}, T2_{ts}, T2_{te}).$

Si analitzem *ic5* veiem que a diferència d'*ic2* ara per comprovar aquesta restricció d'integritat hem de tenir en compte la regla de deducció del predicat derivat. Concretament *ic5* es podria violar si en temps de transacció *Actual*:

- Una transacció esborrés matrícules d'un curs on hi havia més d'un estudiant fins que només en quedés una o cap.

Aquesta restricció no es pot violar de cap altre manera ja la restricció imposa que hi hagi més d'un estudiant en un temps de transacció estrictament anterior al temps de transacció *Actual*, on ens trobem en que n'hi ha menys d'un estudiant.

4.3. Restriccions d'Integritat de Transició.

Les restriccions d'integritat de transició són un subconjunt de les restriccions d'integritat dinàmiques que es caracteritzen per tenir un mateix període de temps vàlid i els punts de temps de transacció on s'han de fer complir són consecutius, sent un d'ells el temps de transacció *Actual*. A la figura 7 podem veure l'àmbit el més genèric possible de les restriccions d'integritat de transició.

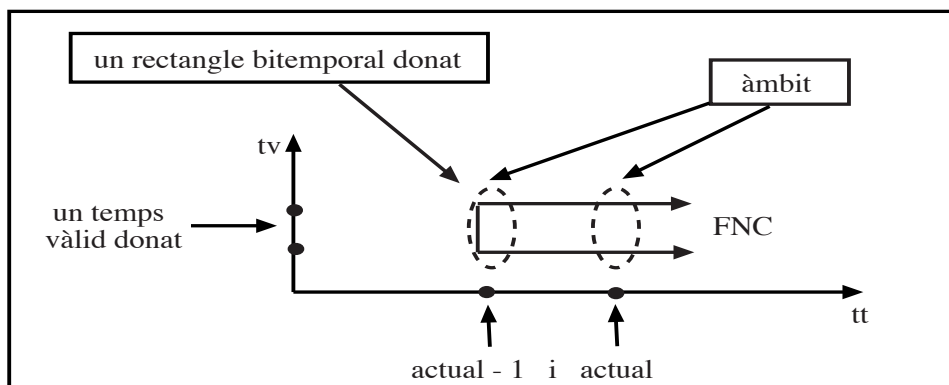


Fig. 7. Àmbit de les restriccions d'integritat de transició.

Les restriccions d'integritat de transició, igual que les restriccions d'integritat dinàmiques, poden ser de tipus per condicions, síncrones en temps de transacció, periòdiques en temps de transacció i dependents d'una data límit en temps de

transacció, on ara imposarem les restriccions sobre temps de transacció consecutius.

5. Restriccions d'Integritat en Temps Vàlid.

Les restriccions d'integritat en temps vàlid estan definides en un temps de transacció determinat i l'àmbit de la restricció ve donat pel temps vàlid. Poden ser intraestat o interestat. Les restriccions intraestat fan referència a un període de temps vàlid per un únic punt de temps de transacció, concretament el punt de temps *Actual*, mentre que les restriccions interestat es mouen entre dos punts o períodes de temps vàlid, pel temps de transacció *Actual*.

5.1. Restriccions d'Integritat Intraestat.

Les restriccions d'integritat intraestat són com les restriccions d'integritat estàtiques (veure apartat 4.1) però dins la classificació de restriccions d'integritat en temps vàlid.

5.2. Restriccions d'Integritat Interestat.

Les restriccions d'integritat interestat es caracteritzen perquè s'han de fer complir en diferents punts o períodes de temps vàlid pel punt de temps de transacció *Actual*. Les restriccions d'integritat interestat poden reflectir la història del temps vàlid en un període de temps de transacció específic, que serà el mateix a tots els predicats de la restricció. A la figura 8 podem veure l'àmbit el més genèric possible de les restriccions d'integritat interestat.

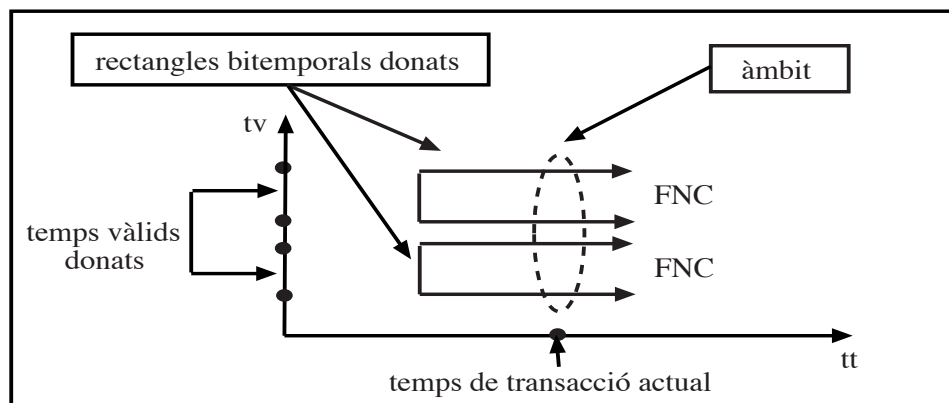


Fig. 8. Àmbit de les restriccions d'integritat interestat.

Ic3 és un exemple de restricció d'integritat interestat:

$$ic3 \leftarrow \text{matrícula}(S, 'bases de dades', T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge$$

$$\text{matrícula}(S, 'enginyeria del software', T1_{vs}, T1_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge T1_{ve} \geq T_{vs}.$$

Si analitzem *ic3* veiem que per comprovar aquesta restricció d'integritat hem de tenir en compte dos temps vàlids diferents, un anterior a l'altre. Concretament *ic3* es podria violar si en temps de transacció *Actual*:

- Una transacció inserís la matrícula d'un estudiant al curs de *bases de dades* i en la mateixa transacció s'inserís la matrícula d'aquest mateix estudiant en el curs *enginyeria del software* amb un temps vàlid posterior o igual al de la matrícula de *bases de dades*.

Una restricció d'integritat interestat pot ser de tipus per condicions, síncrona en temps de vàlid, periòdica en temps vàlid i depenent d'una data límit en temps vàlid. *Ic3* és concretament una restricció d'integritat interestat per condicions perquè defineix unes condicions que s'han de fer complir.

En les restriccions d'integritat interestat els predicats de la definició de la restricció tenen el mateix temps de transacció d'inici i finalització, però diferents temps vàlids d'inici i finalització.

6 Restriccions d'Integritat Bitemporals.

Les restriccions d'integritat bitemporals són el tipus més complex de restriccions d'integritat, concretament les interelement, perquè es defineixen per punts o períodes de temps vàlid diferents i s'han de fer complir en diferents punts de temps de transacció, sent un d'ells el temps de transacció *Actual*. Poden ser intraelement o interelement. Les restriccions intraelement fan referència a un període de temps vàlid per un únic punt de temps de transacció, concretament el punt de temps *Actual*, mentre que les restriccions interelement es mouen entre dos punts o períodes de temps vàlid per diferents punts de temps de transacció, sent un d'ells el temps de transacció *Actual*.

6.1. Restriccions d'Integritat Intraelement.

Les restriccions d'integritat intraelement són com les restriccions d'integritat estàtiques (veure apartat 4.1) però dins la classificació de restriccions d'integritat bitemporals.

6.2. Restriccions d'Integritat Interelement.

Les restriccions d'integritat interelement es caracteritzen per tenir diferents temps vàlids i diferents temps de transacció, sent un d'ells el temps de transacció *Actual*. A la figura 9 podem veure l'àmbit el més genèric possible de les restriccions d'integritat interelement.

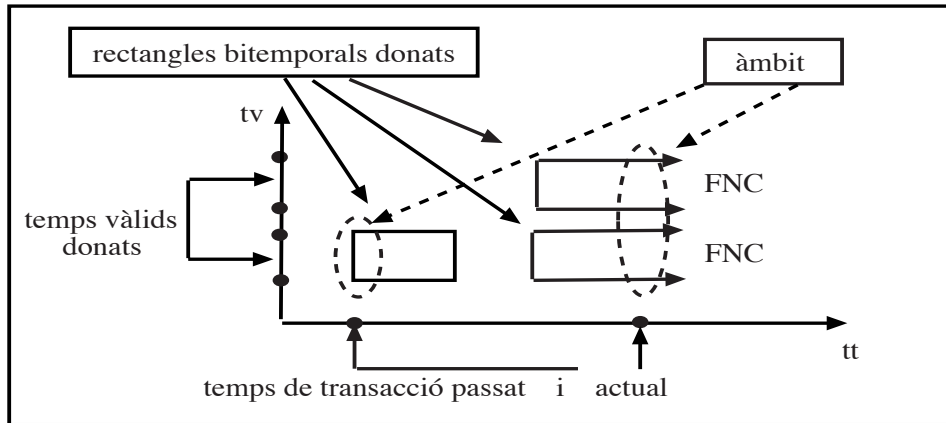


Fig. 9. Àmbit de les restriccions d'integritat interelement.

Ic4 és un exemple de restricció d'integritat interelement:

$$ic4 \leftarrow assignatures(C,P,T_{vs},T_{ve},T_{ts},T_{te}) \wedge \\ assignatures(C,P1,T1_{vs},T1_{ve},T1_{ts},T1_{te}) \wedge P1 < P \wedge T_{ve} < T1_{vs} \wedge T1_{ts} - 10 > T_{ts}.$$

Si analitzem *ic4* veiem que per comprovar aquesta restricció d'integritat hem de tenir en compte dos intervals de temps vàlids diferents i dos intervals de temps de transacció diferents. Concretament *ic4* es podria violar si en temps de transacció *Actual*:

- Una transacció inserís un curs amb un preu determinat i aquest curs ja estes inserit en un altre temps vàlid posterior a l'anterior amb un preu més petit que el donat per la transacció i fes més de deu dies que aquest informació estes emmagatzemada.

- Una transacció inserís un curs amb un preu determinat i aquest curs ja estes inserit en un altre temps vàlid anterior al de la transacció amb un preu més gran que el donat per la transacció i fes més de deu dies que aquest informació estes emmagatzemada.

Amb aquesta restricció d'integritat no hi ha cap altre possibilitat de violació ja que tota referència al passat invalida que una transacció realitzada en temps de transacció *Actual* la pugui afectar. Aquest seria el cas per exemple, d'inserir tota la informació en temps de transacció *Actual*, amb la qual cosa seria impossible violar la restricció perquè si ho fem tot en el mateix temps de transacció és impossible que transcorrin deu dies.

Les restriccions d'integritat interelement poden ser de qualsevol tipus, ja siguin per condicions o síncrones, periòdiques i dependents de data límit en temps vàlid i temps de transacció. Fins i tot poden ser de qualsevol dels tipus en temps vàlid i en temps de transacció alhora. *Ic4* és una restricció d'integritat interelement, per condicions i dependent d'una data límit en temps de transacció.

7. Classificació de les Restriccions d'Integritat Temporals en Bases de Dades Deductives Bitemporals.

Analitzant la taxonomia de restriccions d'integritat d'en Miquel Böhlen, també utilitzada per Richard Snodgrass introduint una nova nomenclatura [Sno99], ja hem vist en els apartats anteriors que si ens centrem en el cas de bd-dbts podem trobar algunes similituds o redundàncies entre diferents tipus de restriccions que podríem situar en un únic grup. El cas més clar és el de les restriccions estàtiques, intraestat i intraelement que podrien formar un únic grup.

A continuació proposem una classificació de restriccions d'integritat per bd-dbts en quatre grups.

7.1. Primer Grup: Restriccions d'Integritat Actuals.

Les restriccions d'integritat estàtiques, intraestat, interestat i algun tipus de dinàmiques o de transició formen el primer grup. Aquest grup es caracteritza perquè la restricció d'integritat fa referència, per un temps vàlid donat, a un únic punt de temps de transacció, que concretament és el punt de temps *Actual*. Si haguéssim de donar un nom a aquest grup el podríem anomenar de restriccions d'integritat actuals. Una restricció d'integritat actual només pot ser de tipus per condicions.

Formalment una restricció d'integritat actual seria del tipus:

$$ic \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) [\wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \dots] \wedge \text{condicions}.$$

On els claudàtors *[]* indiquen que podem posar, opcionalment, tants predicats com vulguem.

IcI seria una restricció d'integritat actual.

7.2. Segon grup: Restriccions d'Integritat de Temps de Transacció.

Algunes de les restriccions d'integritat dinàmiques o de transició formarien el segon grup. Aquest grup es caracteritza perquè la restricció d'integritat fa referència, per un temps vàlid donat, a diferents punts de temps de transacció, sent sempre un d'ells el punt de temps *Actual*. Si haguéssim de donar un nom a aquest grup el podríem anomenar de restriccions d'integritat de temps de transacció. Una restricció d'integritat de temps de transacció pot ser de tipus per condicions, síncrona en temps de transacció, periòdica en temps de transacció i dependent d'una data límit en temps de transacció.

Formalment una restricció d'integritat en temps de transacció seria del tipus:

$ic \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) [\wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \dots] \wedge \{condicions/ sincronisme t.transacció/ periodicitat t.transacció/ data límit t.transacció\}$.

On les claus $\{ \}$ indiquen que hem d'escollir entre una o varies de les alternatives que hi trobem entre les claus.

$Ic2$ i $ic5$ serien restriccions d'integritat de temps de transacció.

Dins d'aquest grup hem de tenir en compte les següents consideracions:

- Si una restricció d'integritat es defineix fent referència a un temps de transacció futur, com per exemple, si considerem T_{te} com el temps de transacció *Actual*:

$$ic \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T1_{ts} \geq T_{te} \quad \circ$$

$$ic \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T1_{ts} > T_{te}$$

sempre podem veure-la en forma de referència a temps de transacció passat, si plantegem la mateixa restricció d'integritat en forma de passat i ens esperem a que el temps de transacció *Actual* sigui $T1_{ts}$:

$$ic \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T_{te} \leq T1_{ts} \quad \circ$$

$$ic \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T_{te} < T1_{ts}, \text{ respectivament.}$$

Podem veure gràficament la transformació de futur en passat a la figura 10.

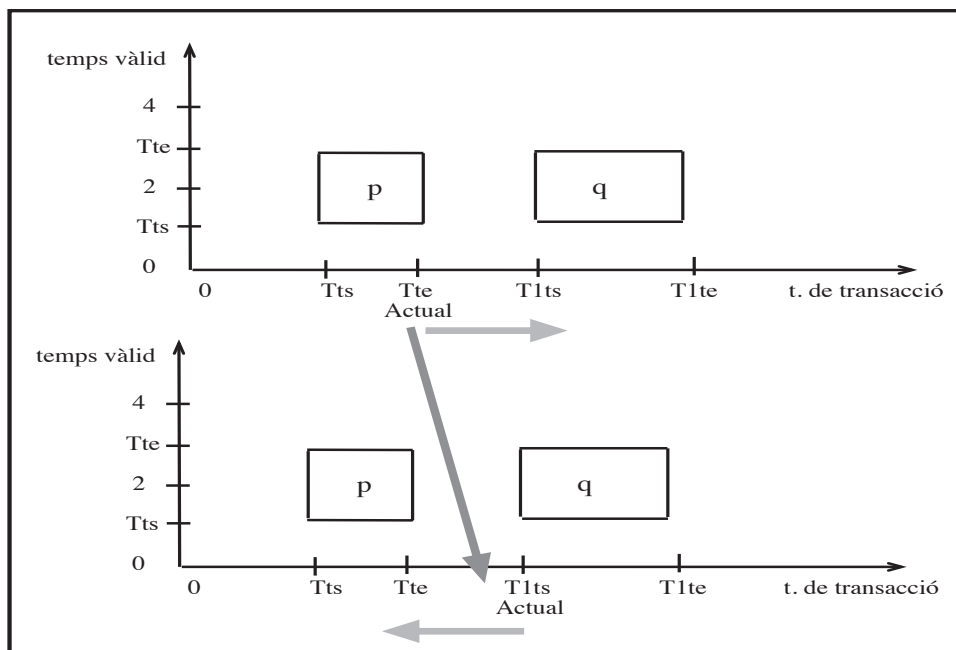


Fig. 10. Transformació de restriccions d'integritat futures en passades.

- Si una restricció d'integritat conté una referència menor o igual a un temps de transacció passat sense periodicitats ni dates límit, com per exemple *ica* pel cas de les restriccions dinàmiques i veiem aquí també el cas d'*icb* per les restriccions d'integritat interelement:

$$ica \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T_{te} \leq T1_{ts}$$

$$icb \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T1_{vs}, T1_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \wedge T1_{te} \leq T2_{ts} \wedge$$

$$T1_{ve} \leq T2_{vs}$$

sempre podrem rescriure-les, obtenint:

$$ica \leftarrow ica_i \quad i = 1, 2$$

$$ica_1 \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T_{te} < T1_{ts}$$

$$ica_2 \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T_{vs}, T_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) \wedge T_{te} = T1_{ts}$$

$$icb \leftarrow icb_i \quad i = 1, 2$$

$$icb_1 \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T1_{vs}, T1_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \wedge T1_{te} < T2_{ts} \wedge$$

$$T1_{ve} \leq T2_{vs}$$

$$icb_2 \leftarrow p(X, T_{vs}, T_{ve}, T_{ts}, T_{te}) \wedge q(Y, T1_{vs}, T1_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \wedge T1_{te} = T2_{ts} \wedge$$

$$T1_{ve} \leq T2_{vs}$$

D'aquesta manera les restriccions d'integritat dinàmiques o de transició com *ica₁* seran les que pertanyeran al segon grup.

Les restriccions d'integritat dinàmiques o de transició com *ica₂* passaran a formar part del primer grup havent-se de comprovar només en temps de transacció $Actual = T_{te} = T1_{ts}$.

Les restriccions d'integritat interelement com *icb₁* passaran a formar part del quart grup.

I finalment les restriccions d'integritat interelement com *icb₂* pertanyeran al tercer grup, ja que hem eliminat les referències temporals al passat respecte al temps de transacció deixant-les a *icb₁*. I ara només s'hauran de comprovar en temps de transacció $Actual = T1_{te} = T2_{ts}$.

7.3. Tercer Grup: Restriccions d'Integritat de Temps Vàlid.

Les restriccions d'integritat interestat i les interelement excloses del segon grup formen el tercer grup. Aquest grup és caracteritzat per tenir el mateix punt de

temps de transacció sempre l'*Actual* i diferents punts o períodes de temps vàlid. Si haguéssim de donar un nom a aquest grup el podríem anomenar de restriccions d'integritat de temps vàlid. Una restricció d'integritat de temps vàlid pot ser de tipus per condicions, síncrona en temps vàlid, periòdica en temps vàlid i dependent d'una data límit en temps vàlid. La més interessant particularitat d'aquest grup és la transformació de les restriccions d'integritat interelement, excloses del segon grup, en restriccions d'integritat interestat.

Formalment una restricció d'integritat bitemporal seria del tipus:

$$ic \leftarrow p(X, T1_{vs}, T1_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) [\wedge q(Y, T2_{vs}, T2_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \dots] \wedge \{condicions/ sincronisme\ t.vàlid/ periodicitat\ t.vàlid/ data\ límit\ t.vàlid\}.$$

Ic3 seria una restricció d'integritat de temps vàlid.

7.4. Quart Grup: Restriccions d'Integritat Bitemporals.

Les restriccions d'integritat interelement que no van a parar al segon grup formen el quart grup. Aquest grup és caracteritzat per tenir diferents punts de temps de transacció sent un d'ells sempre l'*Actual* i diferents punts o períodes de temps vàlid. Si haguéssim de donar un nom a aquest grup el podríem anomenar per la seva complexitat restriccions d'integritat bitemporals. Una restricció d'integritat bitemporal pot ser de tipus per condicions, síncrona en temps vàlid, síncrona en temps de transacció, periòdica en temps vàlid, periòdica en temps de transacció, dependent d'una data límit en temps vàlid i dependent d'una data límit en temps de transacció.

Formalment una restricció d'integritat en temps vàlid seria del tipus:

$$ic \leftarrow p(X, T1_{vs}, T1_{ve}, T1_{ts}, T1_{te}) [\wedge q(Y, T2_{vs}, T2_{ve}, T2_{ts}, T2_{te}) \dots] \wedge \{condicions/ sincronisme\ t.transacció/ periodicitat\ t.transacció/ data\ límit\ t.transacció/ sincronisme\ t.vàlid/ periodicitat\ t.vàlid/ data\ límit\ t.vàlid\}.$$

Ic4 seria una restricció d'integritat bitemporal.

8. Conclusions i Recerca Futura.

Amb aquesta nova classificació en quatre grups ens adaptem perfectament al cas de les bd-dbts on les restriccions d'integritat que trobem les podem emmarcar dins d'un d'aquests grups, podent saber les propietats que caracteritzen al grup i treient avantatges de cara a la comprovació de la integritat en bd-dbts.

A la figura 11 podem veure un quadre resum amb les dues classificacions amb les que hem treballat i la classificació obtinguda com a resultat de la nostra anàlisi.

Restriccions d'Integritat	Primer Grup Actuals		Segon Grup en Temps de Transacció		Tercer Grup en Temps Vàlid	Quart Grup Bitemporals
	Estàtiques	Intraestat	Intraelement	Dinàmiques Transició	Interestat	Interelement
Restriccions d'Integritat per Condicions	√	√	√	√	√	√
Restriccions d'Integritat Síncrones en T. Vàlid					√	√
Restriccions d'Integritat Síncrones en T. Transacció				√		√
Restriccions d'Integritat Periòdiques en T. Vàlid					√	√
Restriccions d'Integritat Periòdiques en T. Transacció				√		√
Restriccions d'Integritat D.D.L. en T. Vàlid					√	√
Restriccions d'Integritat D.D.L. en T. Transacció.				√		√

Fig. 11. Quadre resum de la classificació de restriccions d'integritat temporals en bd-dbts.

La nostra recerca futura consistirà en analitzar el comportament de les transaccions, la seva coherència i l'impacte d'aplicar fusió en els casos que sigui necessari. Aquests nous resultats i els avantatges de l'estudi presentat en aquest treball els incorporarem al nostre mètode de comprovació de restriccions d'integritat en bd-dbts [MS96a] i [MS96b].

Referències.

- [ABW88] Apt, K.R.; Blair, H.A.; Walker, A. "Towards a Theory of Declarative Knowledge". In Foundations of Deductive Databases and Logic Programming (J.Minker ed.). Morgan Kaufmann. 1988. pp 89-148.
- [All83] Allen, J.F. "Maintaining Knowledge about Temporal Intervals". In Communications of the ACM. Vol. 26. Num 11. 1983. pp 832-843.
- [Böh94a] Böhlen, M. "Managing Temporal Knowledge in Deductive Databases". PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology. Zürich, 1994.
- [Böh94b] Böhlen, M. "Valid Time Integrity Constraints". Technical Report 94-30. Computer Science. University of Arizona, 1994.
- [BR86] Bancilhom, F.; Ramakrishan, R. "An Amateurs Introduction to Recursive Query Processing Strategies". Proc. of the ACM SIGMOD Conf. on Management of Data. Washington D.C., 1986. pp 16-52.

- [CDI+97] Clifford, J.; Dyreson, C.; Isakowitz, T.; Jensen, C.S., Snodgrass, R.T. "On the Semantics of "Now" in Databases". In ACM Transactions on Database Systems. Vol. 22. Num. 2. Juny, 1997. pp 171-214.
- [CP00] Cowley, W.; Plexousakis, D. "Temporal Integrity Constraints with Indeterminacy". Proc. of the 26th. Int. Conf. on VLDB'00. Cairo, 2000. pp 441-450.
- [CT95] Chomicki, J.; Toman, D. "Implementing Temporal Integrity Constraints Using an Active DBMS". In the 11th Int. Conf. on Data Engineering, IEEE Computer Society Press. Taipei, March, 1995. pp 566-582.
- [DFG+97] Doucet, A.; Fauvet, M.C.; Garçarski, S.; Jomier, G. and Monties, S. "Using Database Versions to Implement Temporal Integrity Constraints". Proc. of the Int. Workshop on Constraint Databases. 1997. pp 219-233.
- [DW89] Das, S.; Williams, H. "A Path Finding Method for Constraint Checking in Deductive Databases". Data & Knowledge Engineering. Num. 4. 1989. pp 223-224.
- [EJS98] Etzion, O.; Jajodia, S.; Sripada, S. "Temporal Databases: Research and Practice". Springer-Verlag, 1998.
- [GL95] Gertz, M.; Lipeck, U.W. "'Temporal' Integrity Constraints in Temporal Databases". Proc. of the International Workshop on Temporal Databases. Zürich. (Clifford/Tuzhilin Eds). Springer-Verlag, September, 1995. pp 77-92.
- [JCG+92] Jensen, C.S.; Clifford, J.; Gadia, S.K.; Segev, A.; Snodgrass, R.T. "A Glossary of Temporal Database Concepts". In ACM SIGMOD Record. Vol. 21. Num. 3. September, 1992. pp QQ-1-QQ-28.
- [Kow78] Kowalski, R. "Logic for Data Description". In [GM78], pp 77-103.
- [Llo87] Lloyd, J.W. "Foundations on Logic Programming". Second edition. Springer, 1987.
- [MS96a] Martín, C.; Sistac, J. "A Method for Integrity Constraint Checking in Temporal Deductive Databases". In Proc. of the 3th. Int. Workshop on Temporal Representation and Reasoning. Key West, 1996. pp 136-141.
- [MS96b] Martín, C.; Sistac, J. "Applying Transition Rules to Bitemporal Deductive Databases for Integrity Constraint Checking". In Proc. of the Int. Workshop on Logic in Databases. San Miniato, 1996. pp 117-134.
- [Sno99] Snodgrass, R.T. "Developing Time-Oriented Database applications in SQL". Morgan Kaufmann Publishers. 1999.
- [TCG+93] Tansel, A.U.; Clifford, J.; Gadia, S.; Jajodia, S.; Segev, A.; Snodgrass, R. "Temporal Databases: Theory, Design and Implementation". Benjamin/Cummings. 1993.
- [WJW98] Wu, Y.; Jajodia, S.; Wang, X.S. "Temporal Database Bibliography Update". In [EJS98], pp 338-366.