

# ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

---



---

Π. ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ, Δ. ΣΤΑΪΚΟΣ, Ι. ΣΙΣΜΑΝΗΣ

---



---

## 5.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η διαχείριση χρονικών δεδομένων περιλαμβάνει την ανάκτηση καταχωρημένης πληροφορίας και την εξαγωγή συμπερασμάτων από χρονικά εξαρτώμενα δεδομένα. Η έρευνα τα τελευταία χρόνια υπήρξε πολύ έντονη σε αρκετούς τομείς:

- *βάσεις δεδομένων και γνώσεων*: για την ανάκτηση και ενημέρωση χρονικής πληροφορίας και για σχεδίαση διεκπεραιώσεων (transactions) πραγματικού χρόνου
- *τεχνητή νοημοσύνη*: για την σχεδίαση και εξαγωγή συμπερασμάτων από χρονικά δεδομένα
- *τεχνολογία λογισμικού*: για τις προδιαγραφές των ιδιοτήτων συστημάτων πραγματικού χρόνου.

Διάφορες προσεγγίσεις έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία. Κάθε προσέγγιση χαρακτηρίζεται από ένα μοντέλο χρόνου και από τεχνικές διαχείρισης χρονικών δεδομένων. Παρακάτω, οι υλοποιήσεις που βασίζονται σε συγκεκριμένα μοντέλα, αναφέρονται σαν χρονικά συστήματα. Τυπικά προβλήματα που ένα χρονικό σύστημα πρέπει να λύσει είναι:

- εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ιστορία γεγονότων στο παρελθόν, ώστε να αναλυθεί η τρέχουσα κατάσταση,
- σχεδιασμός μελλοντικών πράξεων και πρόβλεψη συνεπειών,
- λειτουργία μέσα σε καθορισμένους χρονικούς περιορισμούς απόκρισης,
- δυνατότητα αντιμετώπισης δεδομένων με περιορισμένη ακρίβεια και πληρότητα.

Επιπλέον ένα χρονικό σύστημα πρέπει να μπορεί να εξάγει συμπεράσματα από δεδομένα που αλλάζουν χρονικά. Η ικανότητα εξαγωγής συμπερασμάτων περιλαμβάνει:

- αντιμετώπιση εξαρτήσεων ανάμεσα σε διαφορετικά χρονικά δεδομένα,
- λογισμό πάνω στην περίοδο εγκυρότητας της τιμής των δεδομένων,

- αντιμετώπιση πραγματικών και προφανών αντιφάσεων, αναγνωρίζοντας λαθεμένα δεδομένα,
- αντιμετώπιση ημιτελών χρονικών δεδομένων.

Στις *βάσεις δεδομένων και γνώσεων* η έμφαση δίνεται στην υλοποίηση ενός τρόπου καταχώρησης και ανάκτησης χρονικών δεδομένων. Οι κύριες κατευθύνσεις έρευνας σε αυτή την περιοχή είναι:

- επέκταση υπάρχοντων χρονικών μοντέλων (π.χ. του σχεσιακού)
- παροχή δυνατοτήτων εξαγωγής χρονικών συμπερασμάτων σε βάσεις γνώσεων

Στην *τεχνητή νοημοσύνη*, μπορούν να βρεθούν δυο είδη χρονικών συστημάτων:

- Συστήματα που απασχολούνται κυρίως με την “κατανόηση” των δεδομένων τους και των συσχετίσεών τους. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται π.χ για την υποστήριξη της κατανόησης της φυσικής γλώσσας, όταν εμπλέκονται χρονικά θέματα.
- Συστήματα που χτίζουν σχέδια για τις μελλοντικές πράξεις ενός συστήματος. Για παράδειγμα, στην κατανομή του χρόνου χρήσης των πόρων ενός εργοστασίου.

Στην *τεχνολογία λογισμικού*, έμφαση δίνεται στην περιγραφή των χρονικά εξαρτώμενων ιδιοτήτων των συστημάτων πραγματικού χρόνου. Γενικά, τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται για την επιβεβαίωση ότι συγκεκριμένες ιδιότητες περιγράφουν πλήρως και σωστά το σύστημα πραγματικού-χρόνου. Συνεπώς τα χρονικά συστήματα αυτού του είδους δεν ασχολούνται με την διαχείριση και την εξαγωγή συμπερασμάτων από χρονικά δεδομένα, αλλά για την επαλήθευση της ικανότητας ενός συστήματος πραγματικού χρόνου να χειριστεί τέτοια δεδομένα σωστά.

Στο κεφάλαιο αυτό, θα στηριχτούμε κυρίως στα [MP91], [Jen+92], [Στάϊ95] για τις γενικές έννοιες των χρονικών συστημάτων βάσεων δεδομένων, στο [Στάϊ95] για την παρουσίαση του στάνταρτ της TSQL-2 και στο [ISO94] για την παρουσίαση του στάνταρτ της SQL/Temporal.

## 5.2 ΦΥΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ

Υπάρχουν διάφοροι παράμετροι που επηρεάζουν τη φύση του χρόνου: το *είδος* και το *μέγεθος* των στοιχειωδών χρονικών μονάδων, η *πυκνότητα* του χρόνου, το *μοντέλο εξέλιξης* του, οι διαφορετικές *διαστάσεις* στις οποίες ο χρόνος μπορεί να θεωρηθεί, καθώς και οι *πράξεις* που μπορεί κανείς να εφαρμόσει. Οι περισσότεροι ορισμοί είναι από το [Jen+92].

### 5.2.1 Πυκνότητα

Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με τη πυκνότητα του χρόνου. Προτού τις παρουσιάσουμε θα περιγράψουμε την έννοια του *στοιχειώδους χρονικού στοιχείου* (*chronon*). Ένα στοιχειώδες χρονικό σημείο είναι η μικρότερη διάρκεια χρόνου που υποστηρίζεται από ένα χρονικό ΣΔΒΔ -μια μονάδα χρόνου που δεν μπορεί να διασπαστεί σε πιο στοιχειώδη στοιχεία. Ένα στοιχειώδες χρονικό σημείο μπορεί να θεωρηθεί και σαν ένα υποδιάστημα σταθερής διάρκειας στο άξονα του χρόνου.

Ο άξονας του χρόνου είναι μια αφαίρεση που χρησιμοποιούμε για να μοντελοποιήσουμε το χρόνο. Υπάρχουν διαφορετικές θεωρήσεις αυτής της αφαίρεσης. Η πρώτη από αυτές, που είναι και η πλέον διαδεδομένη, θεωρεί ότι η διάσταση του χρόνου είναι *ισομορφική* με το σύνολο των ακεραίων. Σε αυτή την περίπτωση λέμε ότι ο χρόνος είναι *διακριτός* (*discrete*). Σε αυτή τη θεώρηση, για κάθε σημείο στον άξονα του χρόνου υπάρχει και ένα μοναδικό *διάδοχο* (επόμενο) σημείο. Μια άλλη θεώρηση είναι να αντιμετωπίσει κανείς τον άξονα του χρόνου ως *ισομορφικό* είτε του συνόλου των ρητών, είτε των πραγματικών αριθμών. Τότε λέμε ότι ο χρόνος είναι *πυκνός* (*dense*). Το βασικό χαρακτηριστικό αυτής της προσέγγισης είναι ότι μεταξύ δύο

χρονικών στιγμών υπάρχει πάντα μία άλλη. Το αξίωμα αυτό αναιρεί αυτομάτως την έννοια του διάδοχου στοιχείου. Επιπλέον, όταν ο άξονας του χρόνου είναι ισομορφικός του συνόλου των πραγματικών αριθμών -οπότε εξειδικεύουμε τον ορισμό λέγοντας ότι ο χρόνος είναι *συνεχής* (*continuous*) - δεν υπάρχουν και κενά (*gaps*) στο χρόνο.

Ακόμα, ανάλογα με το μοντέλο, ο χρόνος μπορεί να είναι *φραγμένος* (*bounded*) στο ένα ή και στα δύο άκρα, ή *άπειρος*.

### 5.2.2 Είδος της χρονικής διάρκειας

Ο χρόνος μπορεί να αντιμετωπισθεί και με διαφορετικές θεωρήσεις για το είδος της χρονικής διάρκειας. Η πιο συνήθης έννοια είναι οι έννοιες του *γεγονότος* (*event*). Ένα γεγονός είναι μια απομονωμένη στιγμή στο χρόνο. Ο ακριβής ορισμός είναι "ένα γεγονός συμβαίνει τη στιγμή  $t$  αν συμβεί σε οποιοδήποτε χρόνο που αναπαριστάται από το στοιχειώδες χρονικό σημείο  $t'$ ". Ένα *διάστημα* (*interval*) είναι ο χρόνος μεταξύ δύο γεγονότων. *Διάρκεια* (*duration*) ονομάζουμε ένα ποσό χρόνου με σταθερό μήκος, αλλά χωρίς καθορισμένα άκρα. Ένα *περιορισμένο χρονικό διάστημα* (*span*) είναι μια κατευθυνόμενη διάρκεια χρόνου (θετική ή αρνητική).

### 5.2.3 Μοντέλο εξέλιξης του χρόνου

Το μοντέλο εξέλιξης του χρόνου μπορεί να έχει και αυτό διαφορετικές εκδοχές. Ο χρόνος μπορεί να εξελίσσεται *γραμμικά* (*linearly*), οπότε ανάμεσα σε δύο σημεία υπάρχει πάντα μια σχέση ολικής διάταξης. Μπορεί, όμως, για λόγους ιδιομορφίας των εφαρμογών μας, να θέλουμε να υποστηρίξουμε πολλά πιθανά μέλλοντα, οπότε το μοντέλο εξέλιξης του χρόνου γίνεται *διακλαδιζόμενο* (*branching time*). Σε αυτή την περίπτωση υπάρχει μια μερική διάταξη μεταξύ δύο διαφορετικών σημείων. Ακόμα, μπορεί κανείς να θεωρήσει το χρόνο *κυκλικό* (*circular*), κυρίως σε εφαρμογές που γεγονότα και διαδικασίες επαναλαμβάνονται. Οι ορισμοί είναι από το [MP91].

### 5.2.4 Διαστάσεις του χρόνου

Ο χρόνος μπορεί να αντιμετωπιστεί σε διαφορετικές διαστάσεις. Οι διαστάσεις είναι και αυτές που χαρακτηρίζουν και το είδος του ΣΔΒΔ σε σχέση με τη χρονική υποστήριξη που παρέχει.

*Χρόνος εγκυρότητας* (*valid time*) ενός γεγονότος είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το γεγονός αυτό είναι αληθές στον υπό μοντελοποίηση κόσμο. Για παράδειγμα, ο χρόνος εγκυρότητας για το γεγονός "Ο Πωλ Σεζάν είναι ζωντανός" είναι το διάστημα [1839 - 1906].

*Χρόνος δοσοληψίας* (*transaction time*) ενός γεγονότος είναι το διάστημα κατά το οποίο το γεγονός είναι αποθηκευμένο στη βάση δεδομένων. Ο χρόνος δοσοληψίας είναι τύπου διαστήματος και είναι πάντα συνεπής με τη σειρά εκτέλεσης των δοσοληψιών στο σύστημα. Είναι σαφές ότι οι τιμές που μπορεί να πάρει το άνω άκρο του διαστήματος του χρόνου δοσοληψίας δεν μπορεί να υπερβαίνουν την τρέχουσα χρονική στιγμή. Καθώς το παρελθόν δεν αλλάζει, κανείς δεν μπορεί να αλλάξει το χρόνο δοσοληψίας ενός γεγονότος.

*Χρόνος ορισμένος από το χρήστη* (*user-defined time*) είναι ένα πεδίο (*attribute*) με πεδίο ορισμού χρονικής φύσεως (*date, time*). Παράδειγμα τέτοιου χρόνου είναι "ημερομηνία γέννησης", "ημερομηνία πρόσληψης" κλπ. Ο χρόνος που είναι ορισμένος από το χρήστη δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί από τη γλώσσα ερωτήσεων ισοδύναμα με το χρόνο εγκυρότητας και δοσοληψίας.

Μια σχέση που έχει ακριβώς μία διάσταση χρόνου εγκυρότητας υποστηριζόμενη από το σύστημα, ονομάζεται *σχέση χρόνου εγκυρότητας (valid-time relation)*. Αντίστοιχα ορίζεται και η *σχέση χρόνου δοσοληψίας (transaction-time relation)*. *Σχέσεις στιγμιοτύπου (snapshot relations)* είναι οι σχέσεις που δεν υποστηρίζουν ούτε χρόνο εγκυρότητας, ούτε χρόνο δοσοληψίας. *Σχέση διπλού χρόνου (bitemporal relation)* είναι μια σχέση που είναι και σχέση χρόνου εγκυρότητας και σχέση χρόνου δοσοληψίας.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να ορίσουμε ότι *χρονόσημο (timestamp)* είναι μια οποιαδήποτε τιμή χρόνου που σχετίζεται με κάποιο από τα αντικείμενα της βάσης (πλειάδες, πίνακες). *Χρόνος ζωής (lifespan)* ενός αντικειμένου είναι ο χρόνος στον οποίο το αντικείμενο έχει οριστεί -στην περίπτωση δε, που υπάρχει χρονοσήμανση, χρόνος ζωής του αντικειμένου είναι το χρονόσημό του.

Μια σχέση στην οποία όλα τα πεδία μιας πλειάδας έχουν τον ίδιο χρόνο ζωής (χρονόσημο) ονομάζεται *χρονικά ομοιογενής (temporally homogeneous)*. Αντίστοιχα, μια βάση δεδομένων είναι χρονικά ομοιογενής αν όλες οι σχέσεις της είναι χρονικά ομοιογενής.

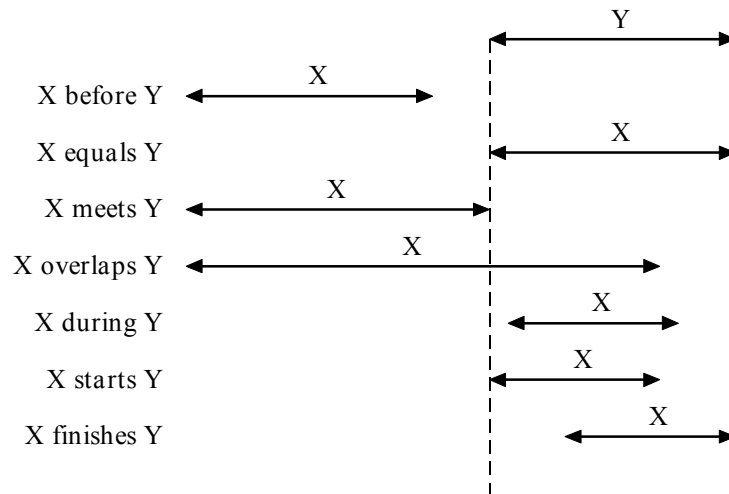
### 5.2.5 Πράξεις στο χρόνο

Μια από τις πιο σημαντικές θεωρίες μοντελοποίησης του χρόνου παρουσιάστηκε στο [Alle83]. Η θεωρία αυτή απευθύνεται στο πρόβλημα αναπαράστασης χρονικής γνώσης και χρονικού λογισμού από την σκοπιά της τεχνητής νοημοσύνης. Συγκεκριμένα επικεντρώνεται σε δυο κύριες υποπεριοχές της τεχνητής νοημοσύνης: στην κατανόηση φυσικής γλώσσας και στην λύση προβλημάτων. Η βάση της προσέγγισης του Allen αποτελείται από μια χρονική λογική βασισμένη σε διαστήματα μαζί με έναν υπολογιστικά αποτελεσματικό αλγόριθμο λογισμού βασισμένο στην διάδοση περιορισμών.

Σε αυτή τη προσέγγιση, τα χρονικά διαστήματα μπορούν να συσχετισθούν μεταξύ τους χρησιμοποιώντας ένα προκαθορισμένο σύνολο από χρονικές σχέσεις και τις αντίστροφες αυτών, όπως φαίνεται περιληπτικά στο σχήμα 5.1 (και γραφικά στο σχήμα 5.2). Κάθε σχέση αναπαρίσταται από ένα κατηγορημα στην αντίστοιχη χρονική λογική. Ένα σύνολο από απαραίτητα αξιώματα στην συναγωγή συμπερασμάτων μεταξύ οποιονδήποτε δυο αυθαίρετων διαστημάτων αναπτύχθηκε, βασισμένο στις μεταβατικές ιδιότητες των σχέσεων. Η έννοια των *διαστημάτων αναφοράς* εισήχθη για να καλύψει την ενδογενή χρονική ιεραρχία πολλών περιοχών, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον ακριβή έλεγχο της ποσότητας συναγωγών που το σύστημα εκτελεί.

Σχέση	Σύμβολο	Σύμβολο αντίστροφης σχέσης
X προηγείται (before) Y	<	>
X ίσο με (equals) Y	=	=
X συναντά (meets) Y	m	mi
X καλύπτει μερικώς (overlaps) Y	o	oi
X κατά τη διάρκεια (during) Y	d	di
X αρχίζει (starts) Y	s	si
X τερματίζει (finishes) Y	f	fi

Σχήμα 5.1 Οι σχέσεις του Allen - κατηγορήματα



Σχήμα 5.2 Οι σχέσεις του Allen - γραφική αναπαράσταση

Αυτή η λογική διαστημάτων είναι η βαθύτερη υπόθεση μιας θεωρίας λογισμού σχετικά με πράξεις που περιγράφεται στο [Alle84]. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία, ο κόσμος περιγράφεται από ένα σύνολο χρονικών ισχυρισμών που περιγράφουν τι είναι γνωστό σχετικά με το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον. Αυτό περιλαμβάνει περιγραφές και στατικών και δυναμικών όψεων του κόσμου. Συγκεκριμένα, οι στατικές όψεις μοντελοποιούνται με ιδιότητες που ισχύουν κατά την διάρκεια χρονικών ανοιγμάτων, ενώ οι δυναμικές όψεις μοντελοποιούνται με συμβάντα που περιγράφουν αλλαγές πάνω σε χρονικά ανοίγματα.

Οι ιδιότητες υποδηλώνονται με εκφράσεις του τύπου:  $\text{holds}(P, T)$ , που αναφέρουν ότι η ιδιότητα  $P$  ισχύει κατά το χρονικό διάστημα  $T$ .

Τα συμβάντα χωρίζονται σε δυο τάξεις: διεργασίες και γεγονότα. Πιο πολύ ενδιαφερόμαστε στην δήλωση γεγονότων που περιγράφονται από κατηγορήματα της μορφής:  $\text{occur}(E, T)$ , που υποδηλώνει ότι το γεγονός  $E$  συνέβη κατά το χρονικό διάστημα  $T$ . Βασική υπόθεση της θεωρίας είναι ότι δεν υπάρχει υποδιάστημα του  $T$  κατά το οποίο μπορεί να ειπωθεί ότι συνέβη το γεγονός.

Τα γεγονότα χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν την αλλαγή της κατάστασης μιας ιδιότητας και σχετίζονται με τις ιδιότητες διαμέσου αξιωμάτων όπως το παρακάτω:

$$\begin{aligned} \text{occur}(\text{state-change}(X, \text{not\_active}, \text{active}), T1) \Rightarrow \\ \text{meets}(T1', T1) \ \& \ \text{meets}(T1, T1'') \ \& \\ \text{holds}(\text{state}(X, \text{not\_active}), T1') \ \& \\ \text{holds}(\text{state}(X, \text{active}), T1''). \end{aligned}$$

Το παραπάνω αξίωμα δηλώνει ότι το γεγονός  $\text{state-change}(X, \text{not\_active}, \text{active})$ , όπου η μεταβλητή  $X$  έγινε ενεργή ( $\text{active}$ )-αλλάζοντας από την προηγούμενη κατάσταση όπου ήταν ανενεργή ( $\text{not\_active}$ )- συνέβη κατά το χρονικό διάστημα  $T1$  υπό τις παρακάτω συνθήκες: κατά την διάρκεια του χρονικού διαστήματος  $T1'$  (που προηγείται άμεσα του  $T1$ ) ισχύει η κατάσταση  $\text{state}(X, \text{not\_active})$ , ενώ μετά την  $T1$  ισχύει η ιδιότητα  $\text{state}(X, \text{active})$ . Στο συγκεκριμένο παράδειγμα χρειάζονται επιπλέον αξιώματα για την αντιμετώπιση ασυμβατοτήτων των τιμών: Για μια μεταβλητή οι

καταστάσεις `active` και `not_active` δεν μπορούν είναι ταυτόχρονα ενεργές κατά τον ίδιο χρόνο `T`. Δηλαδή:

```
holds( exclusive_or(state(X, not_active), state(X, active)) , T )
```

Στο μοντέλο του Allen, ο λογισμός λαμβάνει χώρα διαμέσου μιας διατυπωμένης πρώτης-τάξης κατηγορηματικής άλγεβρας.

### 5.3 TSQL-2

Στην παράγραφο αυτή θα προσπαθήσουμε να παρουσιάσουμε το TSQL2 στάνταρτ. Η παρουσίαση αυτή βασίζεται στο [Σταϊ95]. Η TSQL2 είναι η πρώτη επίσημη προσπάθεια για τη δημιουργία μιας πρότυπης γλώσσας ερωτήσεων για τις χρονικές βάσεις δεδομένων και αποτελεί τη χρονική επέκταση της SQL-92.

Η TSQL2 βασίζεται σε ένα απλοποιημένο ιδεατό μοντέλο (conceptual model), το *BCDM* (*Bitemporal Conceptual Data Model*). Το BCDM χαρακτηρίζεται σαν ιδεατό γιατί θέλει απλά να αποτελέσει τη βάση για τη γλώσσα ερωτήσεων. Περιγράφει τη σημασιολογία των χρονικά μεταβλητών σχέσεων όσο πιο απλά γίνεται, χωρίς καμία προσπάθεια να είναι αποδοτικό ή ικανοποιητικό στην παράσταση και την αποθήκευση των δεδομένων, ή την αποτίμηση των ερωτήσεων. Στόχος του είναι τα περισσότερα από τα υπάρχοντα μοντέλα χρονικών βάσεων, τα οποία χαρακτηρίζονται σα *μοντέλα αναπαράστασης* (representational models), να είναι συμβατά με το BCDM, και κατά συνέπεια να μπορούν αυτά να επιλύσουν τα υπόλοιπα ζητήματα.

Βασικές ιδιότητες του μοντέλου:

- Η ακρίβεια αναπαράστασης του χρόνου είναι πεπερασμένη, και κατά συνέπεια ο χρόνος είναι διακριτός.
- Ο χρόνος ξεκινά κάποια στιγμή στο παρελθόν και εκτείνεται μέχρι τη χρονική στιγμή `forever`.
- Κάθε εγγραφή στη σχέση, συνοδεύεται από ένα χρόνο εγκυρότητας και ένα χρόνο δοσοληψίας, οι οποίοι είναι χρονικά στοιχεία.

Οι εγγραφές είναι ομοιογενείς.

Η TSQL2 υποστηρίζει 6 είδη σχέσεων :

- *Σχέσεις στιγμιότυπου* (snapshot relations). Πρόκειται για τις κλασικές σχέσεις οι οποίες δε διαθέτουν καμία χρονική υποστήριξη εκτός από χρόνο χρήστη.
- *Σχέσεις Χρόνου Εγκυρότητας* (ή *Ιστορικές Σχέσεις*) *Κατάστασης* (Valid-time state relations). Οι σχέσεις αυτές διαθέτουν ένα χρόνο εγκυρότητας, ο οποίος αναπαριστάται σαν χρονικό στοιχείο. Σκοπός τους είναι η καταγραφή δεδομένων ή συσχετίσεων που ισχύουν για κάποια χρονικά διαστήματα στον πραγματικό κόσμο.
- *Σχέσεις Χρόνου Εγκυρότητας* (ή *Ιστορικές Σχέσεις*) *Συμβάντων* (Valid-time event relations). Σκοπός των σχέσεων αυτών είναι η καταγραφή συμβάντων, ή δεδομένων, τα οποία συνδέονται με μια μόνο χρονική στιγμή του πραγματικού κόσμου.
- *Σχέσεις Χρόνου Δοσοληψίας* (Transaction-time relations). Σε αυτές τις σχέσεις κρατείται ο χρόνος δοσοληψίας.
- *Σχέσεις Διπλού Χρόνου Κατάστασης* (Bitemporal state relations). Σχέσεις καταστάσεων όπου εκτός από το χρόνο εγκυρότητας υπάρχει και χρόνος δοσοληψίας.
- *Σχέσεις Διπλού Χρόνου Συμβάντων* (Bitemporal event relations). Σχέσεις συμβάντων όπου εκτός από το χρόνο εγκυρότητας υπάρχει και χρόνος δοσοληψίας.

**Παραδείγματα**

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε μερικά παραδείγματα από το TSQL-2 στάνταρτ. Έστω οι σχέσεις:

```
ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ (ΟΝΟΜΑ#, ΜΙΣΘΟΣ, ΤΜΗΜΑ) και
ΤΜΗΜΑΤΑ (ΤΜΗΜΑ#, ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ) .
```

*Ερώτηση:* Δώσε το ιστορικό του Μακρή.

```
SELECT Y.*
FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ Y
WHERE Y.ΟΝΟΜΑ = "Μακρής"
```

Ο χρόνος εγκυρότητας για κάθε εγγραφή του αποτελέσματος θα είναι ο χρόνος εγκυρότητας που είχε στη βάση δεδομένων. Ισοδύναμο θα ήταν να είχαμε προσθέσει και την πρόταση "VALID VALID (Y)". Γενικά ο νέος χρόνος εγκυρότητας υπολογίζεται λαμβάνοντας την τομή των χρόνων εγκυρότητας όσων μεταβλητών εμφανίζονται στο τμήμα FROM. Αν αυτό δεν είναι επιθυμητό μπορούμε να καθορίσουμε ρητά το χρόνο εγκυρότητας με την πρόταση VALID.

*Ερώτηση:* Δώσε το ιστορικό των υπαλλήλων για όσο καιρό εργάστηκαν στα "Αθλητικά".

```
SELECT *
FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ
WHERE ΤΜΗΜΑ = "Αθλητικά"
```

*Ερώτηση:* Δώσε το πλήρες ιστορικό όσων έχουν εργαστεί στο τμήμα "Αθλητικά".

```
SELECT *
FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ
WHERE ΟΝΟΜΑ IN
    (SELECT SNAPSHOT ΟΝΟΜΑ
     FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ
     WHERE ΤΜΗΜΑ = "Αθλητικά")
```

Η διατύπωση :

```
SELECT Y1.*
VALID VALID (Y1)
FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ AS Y1 Y2
WHERE Y1.ΟΝΟΜΑ = Y2.ΟΝΟΜΑ AND Y2.ΤΜΗΜΑ = "Αθλητικά"
```

δεν επιστρέφει το σωστό αποτέλεσμα, καθώς για να συγκριθούν οι τιμές των Y1 και Y2 πρέπει οι αντίστοιχες εγγραφές να είναι έγκυρες για κάποιο κοινό χρονικό διάστημα. Συνεπώς το αποτέλεσμα θα είναι το ιστορικό μόνο για όση περίοδο εργάζονταν στα αθλητικά, δηλαδή η απάντηση στην προηγούμενη ερώτηση.

*Ερώτηση:* Ποιοι υπήρξαν κατά καιρούς διευθυντές του Μακρή ;

```
SELECT Y.ΟΝΟΜΑ, T.ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ
VALID INTERSECT (Y, T)
FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ Y, ΤΜΗΜΑΤΑ T
WHERE Y.ΟΝΟΜΑ = "Μακρής" AND Y.ΤΜΗΜΑ = T.ΤΜΗΜΑ
```

Εδώ σαν χρόνος εγκυρότητας λαμβάνεται η τομή των χρονικών στοιχείων. Η πρόταση `VALID INTERSECT (Y, T)` στη δεδομένη περίπτωση περιττεύει, καθώς συμπίπτει με την προκαθορισμένη συμπεριφορά για την πρόταση `VALID`.

*Ερώτηση:* Πόσο καιρό εργάζεται ο Μακρής στα Αθλητικά ;  
`SELECT SNAPSHOT ONOMA, CAST (VALID (Y) TO INTERVAL DAY)`  
`FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ (ONOMA, ΤΜΗΜΑ) AS Y`  
`WHERE ONOMA = "Μακρής" AND ΤΜΗΜΑ = "Αθλητικά"`

Η δεσμευμένη λέξη `SNAPSHOT` δηλώνει ότι δεν επιθυμούμε το αποτέλεσμα να είναι μια χρονική σχέση. Η συνάρτηση `CAST` μετατρέπει το όρισμά της, που εδώ είναι ένα χρονικό στοιχείο, σε ένα διάστημα με διακριτότητα `DAY`. Το διάστημα αυτό έχει μήκος όσο είναι το πλήθος των ημερών που περιέχονται στο χρονικό στοιχείο που αποτελεί χρόνο εγκυρότητας της εγγραφής. Τέλος η σύνταξη `ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ (ONOMA, ΤΜΗΜΑ)` στην πρόταση `FROM`, υποδηλώνει ότι προβάλλουμε τη σχέση `ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ` στα πεδία `ONOMA` και `ΤΜΗΜΑ`. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα όλες οι εγγραφές που υπάρχουν για τον Μακρή στα Αθλητικά, και μπορούν να υπάρχουν πολλές αν έχει αλλαγή μισθού όσο είναι σε αυτό το τμήμα, θα συμπυχθούν σε μία.

*Ερώτηση:* Εργάστηκε ποτέ ο Μακρής στα Αθλητικά για περισσότερο από δύο χρόνια συνεχόμενα, και αν ναι πότε ;

`SELECT SNAPSHOT ONOMA, CAST (VALID (Y) TO INTERVAL DAY)`  
`FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ (ONOMA, ΤΜΗΜΑ) (PERIOD) AS Y`  
`WHERE ONOMA = "Μακρής" AND ΤΜΗΜΑ = "Αθλητικά"`  
`AND CAST (VALID (Y) TO INTERVAL YEAR) >= INTERVAL '2' YEAR`

Η πρόταση :  
`FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ (ONOMA, ΤΜΗΜΑ) (PERIOD) AS Y`

δηλώνει ότι η σχέση που προκύπτει από την προβολή στα πεδία `ONOMA` και `ΤΜΗΜΑ` πρέπει να αναδομηθεί, και να μετατραπεί σε σχέση όπου κάθε εγγραφή έχει για χρόνο εγκυρότητας ένα χρονικό διάστημα και όχι ένα χρονικό στοιχείο.

*Ερώτηση:* Τι γνωρίζαμε πριν από 20 ημέρες για το τμήμα που εργαζόταν ο Μακρής στις 21/3/90 ;

`SELECT SNAPSHOT Y.ONOMA, Y.ΤΜΗΜΑ`  
`FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ AS Y`  
`WHERE TRANSACTION (Y) OVERLAPS DATE 'now - 20 days'`  
`AND VALID (Y) CONTAINS DATE '21/3/90'`

*Ερώτηση:* Ποιοι υπάλληλοι δουλεύουν συνέχεια τα τελευταία 3 χρόνια στα Αθλητικά ;

`SELECT SNAPSHOT Y.ONOMA`  
`FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ (ONOMA, ΤΜΗΜΑ) (PERIOD) AS Y`  
`WHERE VALID (Y) MEETS CURRENT_DATE`  
`AND CAST (VALID (Y) TO INTERVAL YEAR) >= INTERVAL '3' YEAR`



*Ερώτηση (Χρονική Ομαδοποίηση):* Δώσε το άθροισμα μισθών ανά μήνα για το τμήμα Αθλητικών, για τα τελευταία 2 χρόνια.

```
SELECT ΤΜΗΜΑ, sum(ΜΙΣΘΟΣ)
FROM ( SELECT Y.*
        VALID INTERSECT (VALID(Y), INTERVAL('now - 2
        years', now))
FROM ΥΠΑΛΛΗΛΟΣ Y
WHERE Y.ΤΜΗΜΑ = "Αθλητικά" AND VALID(Y) OVERLAPS
      INTERVAL('now - 2 years', now))
GROUP BY VALID(Y) USING MONTH
```

## 5.4 SQL/TEMPORAL

Σε πολλές βάσεις δεδομένων χρειάζεται να κρατιέται πληροφορία για προηγούμενες καταστάσεις της βάσης. Αλλαγές σε προηγούμενες καταστάσεις δεν επιτρέπονται για λόγους ασφάλειας. Αντίθετα συμπληρωματικές δοσοληψίες απαιτούνται για την διόρθωση λαθών.

Συνήθως, όταν ένα προκύπτει κάποιο λάθος, ο αναλυτής θα κοιτάξει την κατάσταση της βάσης σε κάποιο προηγούμενη στιγμή για να αποφασίσει πού και πώς δημιουργήθηκε το πρόβλημα. Η κλασσική όμως SQL δεν υποστηρίζει τέτοιες τροποποιήσεις ή ερωτήσεις. Το παρακάτω παράδειγμα θα αποσαφηνίσει τα προβλήματα.

- Έστω ότι θέλουμε να κρατήσουμε πληροφορία για τις αλλαγές και διαγραφές σε ένα πίνακα EMPLOYEES. Ο πίνακας έχει τέσσερις στήλες: Name, Manager, Dept, και When (μια περίοδο που δείχνει πότε η εγγραφή ήταν έγκυρη). Για να ξέρουμε πότε προστέθηκαν ή διαγράφηκαν εγγραφές, προσθέτουμε δυο επιπλέον στήλες, InsertTime και DeleteTime, του ίδιου τύπου TIMESTAMP. Η πρόσθεση αυτή, όμως, παραβιάζει τον περιορισμό ακεραιότητας ξένου κλειδιού ανάμεσα σε Manager και Name (ο Manager πρέπει να είναι υπάλληλος).
- Ανακαλύπτουμε ότι ο λογαριασμός τηλεφώνου είναι ιδιαίτερα υψηλός για κάποιο τμήμα, όποτε θέλουμε να ρωτήσουμε: “Πόσοι υπάλληλοι υπήρξαν σε κάθε τμήμα;”. Η ερώτηση αυτή διατυπώνεται αρκετά πολύπλοκα σε SQL.
- Προκύπτει ότι σε ένα από τα τμήματα ο αριθμός των υπάλληλων που δουλεύουν εκεί είναι ασυνήθιστα υψηλός (πάνω από κάποιο όριο). “Πότε έγινε το λάθος;”, “Αυτή η ασυνέπεια της βάσης έχει διαδοθεί;”, “Για πόσο χρόνο η πληροφορία στη βάση δεδομένων είναι λάθος;”. Η ερώτηση “Πότε άρχισαν τα τμήματα να είναι υπερβολικά μεγάλα”, δίνει μια αρχική απάντηση αλλά είναι επίσης πολύ δύσκολο να εκφραστεί σε SQL.

Οι μεταβολές είναι επίσης ένα πρόβλημα. Μια διαγραφή θα πρέπει να υλοποιηθεί σαν ενημέρωση και εισαγωγή, επειδή δεν θέλουμε να χάσουμε την ήδη αποθηκευμένη τιμή. Όμως δεν υπάρχει τρόπος να αποφύγουμε την αλλοίωση των τιμών στις στήλες InsertTime και DeleteTime, από μια κακογραμμένη εφαρμογή ή κάποιον “εγκληματία” που θέλει κακόβουλα να καλύψει τα ίχνη του.

### 5.4.1 Περιγραφή της λύσης

Η λύση είναι να διαχειρίζεται τους χρόνους εγκυρότητας και δοσοληψίας, το ίδιο το ΣΔΒΔ, ώστε να διατηρείται η ακεραιότητα των προηγούμενων καταστάσεων. Επιπλέον, η γλώσσα ερωτήσεων μπορεί να απλοποιήσει αρκετά τα πράγματα με τις κατάλληλες επεκτάσεις.

Για παράδειγμα η έκφραση: `ALTER TABLE Employee ADD TRANSACTION`, προσθέτει χρόνο δοσοληψίας στον πίνακα. Το ίδιο το σύστημα διατηρεί την ακεραιότητα της βάσης και δεν επιτρέπει, για παράδειγμα, σε κάποιον να πειράξει προηγούμενες καταστάσεις. Επιπλέον η σχεσιακή ακεραιότητα που αναφέρθηκε πιο πριν ισχύει ακόμα, χωρίς να χρειάζεται κάποια επανασύνταξη.

Η ερώτηση, “Πόσοι υπάλληλοι υπήρξαν σε κάθε τμήμα” απευθύνεται στην ιστορία του έγκυρου χρόνου για την τρέχουσα κατάσταση δοσοληψίας και μπορεί να συνταχθεί ως:

```
VALID SELECT Dept, COUNT(*)
FROM Employee
GROUP BY Dept
```

Για να βρούμε που έγινε το λάθος, χρησιμοποιούμε την ερώτηση, “Πότε άρχισαν τα τμήματα να είναι υπερβολικά μεγάλα;”, που χρησιμοποιεί σαν χρόνο εγκυρότητας τον τρέχοντα χρόνο (τα τρέχοντα τμήματα) και αναζήτηση σε προηγούμενες καταστάσεις της βάσης:

```
TRANSACTION SELECT Dept, COUNT(*)
FROM Employee
GROUP BY Dept
HAVING COUNT(*) > 25
```

Οι ευκολίες που δικαιολογούν την υποστήριξη για χρόνο εγκυρότητας/δοσοληψίας έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Η υποστήριξη είναι προαιρετική (ήτοι, αν θέλουμε να αγνοήσουμε τα επιπλέον χρονικά χαρακτηριστικά που μας προσφέρει η γλώσσα μπορούμε να το κάνουμε. Κατ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται και η συμβατότητα με εφαρμογές που έχουν ήδη αναπτυχθεί).
- Πίνακες με υποστήριξη χρόνου δοσοληψίας μπορούν να μετατραπούν, δια μέσου μιας όψης, μιας ερώτησης, ή ενός κέρσορα, σε ένα συμβατικό πίνακα με μια επιπλέον στήλη περιόδου, αν ο χρήστης προτιμά να διαχειρίζεται τα δεδομένα με αυτό τον τρόπο.
- Μπορούν να διατυπωθούν ερωτήσεις με τρόπο συμβατό και ορθογώνιο σε πίνακες με χρόνους εγκυρότητας/δοσοληψίας.
- Δεν αλλάζει η σημασιολογία της γλώσσας ούτε αλλάζει σημαντικά η σύνταξη.

#### 5.4.2 Περίληψη της σημασιολογίας

Η σημασιολογία υπαγορεύεται από τρεις απλούς κανόνες:

- Η απουσία της λέξης-κλειδί `VALID (TRANSACTION)` σημαίνει συμβατότητα με το σχεσιακό μοντέλο που δεν έχει χρονικά χαρακτηριστικά. Το αποτέλεσμα δεν περιλαμβάνει χρόνο εγκυρότητας (δοσοληψίας).
- Η λέξη-κλειδί `VALID (TRANSACTION)` σημαίνει ακολουθιακή σημασιολογία χρόνου εγκυρότητας (δοσοληψίας). Το αποτέλεσμα περιλαμβάνει χρόνο εγκυρότητας / δοσοληψίας.
- Η λέξη-κλειδί `NONSEQUENCED` υποδηλώνει μη-ακολουθιακή σημασιολογία. Μια προαιρετική έκφραση περιόδου μετά από `NONSEQUENCED VALID` παρέχει χρονοσήμανση χρόνου εγκυρότητας, παρέχοντας υποστήριξη χρόνου εγκυρότητας στο αποτέλεσμα.

#### 5.4.3 Ορισμοί

*Αρχικό όριο (beginning bound)* μιας περιόδου: η μικρότερη τιμή σε μια περίοδο.

*Στοιχειώδης τύπος (element type)*: Ο τύπος δεδομένων των στοιχείων μιας τιμής μιας συλλογής ή μιας περιόδου.

*Τελικό όριο (ending bound)* μιας περιόδου: η μικρότερη τιμή ενός στοιχειώδους τύπου που είναι μεγαλύτερη από το τελευταίο στοιχείο της περιόδου.

*Επίπεδο διακριτότητας (granule)*: μια περίοδος ελάχιστης διάρκειας που αναπαρίσταται με μια συγκεκριμένη ακρίβεια, δηλ. περιέχει ένα μόνο στοιχείο. Για PERIOD (TIMESTAMP (P)) η διάρκεια είναι σε 10-P δευτερόλεπτα. Ένα επίπεδο διακριτότητας μπορεί να δηλωθεί με μια τιμή ενός τύπου δεδομένων ή με μια περίοδο, το τελευταίο στοιχείο της οποίας είναι ίσο με το αρχικό της όριο.

*Τελευταίο στοιχείο (last element)* μιας περιόδου: Το στοιχείο που είναι μεγαλύτερο από κάθε άλλο στοιχείο στην περίοδο.

*Περίοδος (Period)*: Ένα συμπαγές σύνολο τιμών P ενός καλώς ταξινομήσιμου τύπου (ημ/νίας-ώρας) -γνωστού ως στοιχειώδους τύπου-. Δηλαδή αν δυο τιμές V1 και V2 είναι στην P και υπάρχει μια τιμή V3 τέτοια ώστε  $V1 < V3 < V2$  τότε το V3 ανήκει στην P.

#### 5.4.4 Τύπος περιόδου (Period Data Type)

Ο τύπος περιόδου χαρακτηρίζεται πλήρως από ένα περιγραφέα τύπου περιόδου (period data type descriptor) και "περιέχει" ένα στοιχειώδη τύπο (element type) που μπορεί να είναι οποιοσδήποτε τύπος ημέρας/ώρας (datetime data type).

Μια τιμή του τύπου περιόδου, που υπολογίζεται αφαιρώντας δυο τιμές τύπου-στοιχείου μιας περιόδου, μπορεί να προστεθεί ή να αφαιρεθεί από μια περίοδο, δίνοντας μια περίοδο του ίδιου τύπου. Δεν επιτρέπονται άλλες αριθμητικές πράξεις.

Η περίοδος είναι μια αναπαράσταση ενός συνόλου συνεχόμενων επιπέδων διακριτότητας (granules) μιας συγκεκριμένης ακρίβειας.

Για μια περίοδο με τύπο PERIOD (TIMESTAMP (P)), ένα επίπεδο διακριτότητας είναι ένα συγκεκριμένο 10-P δευτερόλεπτο -(υπο)διαίρεση του δευτερολέπτου-. Για παράδειγμα, PERIOD (0) είναι ένα σύνολο συνεχόμενων δευτερολέπτων, όπου κάθε επίπεδο διακριτότητας είναι ένα συγκεκριμένο δευτερόλεπτο.

Το πρώτο και το τελευταίο επίπεδο διακριτότητας μιας περιόδου, οριζόμενα αντίστοιχα αρχικό και τελικό χρονόσημο (timestamp) της περιόδου, είναι χρονόσημα της ίδιας ακρίβειας με την περίοδο. Τα χρονόσημα αυτά μπορούν να εξαχθούν χρησιμοποιώντας τις συναρτήσεις BEGIN και END. Αν χρησιμοποιηθεί η έκφραση WITH TIME ZONE για την περίοδο, τότε τα χρονόσημα, που επιστρέφονται από τις BEGIN και END, περιλαμβάνουν το πεδίο TIMEZONE.

Οι συναρτήσεις BEGIN, END και LAST επιστρέφουν αντίστοιχα την τιμή του αρχικού ορίου, την τιμή του τελικού ορίου και την τιμή που έχει το τελευταίο επίπεδο διακριτότητας της περιόδου. Συνεπώς, αν ο τύπος της περιόδου P1 είναι PERIOD (TIMESTAMP (0)), τότε LAST (P1) είναι η τιμή του χρονόσημου που χαρακτηρίζει την αρχή του τελευταίου δευτερολέπτου της P1, ενώ END (P1) είναι ένα δευτερόλεπτο αργότερα. Το END (P1) είναι στην πραγματικότητα το ίδιο με το BEGIN (P2), όπου P2 είναι μια περίοδος που "συναντά" την P1. Η P2 δηλαδή, ακολουθεί την P1 χωρίς να την καλύπτει και χωρίς κανένα ενδιάμεσο κενό.

#### 5.4.5 Πράξεις που σχετίζονται με περιόδους

*Κανονικοποίηση (Normalization)* είναι η πράξη που αντιστοιχίζει ένα σύνολο από περιόδους σε ακριβώς ένα σύνολο περιόδων, που είναι

1. *ισοδύναμο* (με την έννοια ότι κάθε επίπεδο διακριτότητας, που είναι μέλος κάποιου στοιχείου του ορίσματος, είναι και μέλος ακριβώς ενός στοιχείου του αποτελέσματος), και
2. *ελάχιστο* (με την έννοια ότι δεν υπάρχουν δυο στοιχεία P1 και P2 του αποτελέσματος τέτοια ώστε το P1 να "συναντά" το P2 (ο όρος συναντά όπως ορίστηκε παραπάνω)).

Η συνάρτηση NORMALIZE παίρνει σαν παράμετρο ένα σύνολο ή ένα πολύ-σύνολο (multiset) περιόδων και το αποτέλεσμα είναι το κανονικοποιημένο σύνολο περιόδων.

Επειδή η συνάρτηση NORMALIZE επενεργεί μόνο σε σύνολα (ή πολυσύνολα) και όχι σε πίνακες, έχει οριστεί μια *έκφραση κανονικοποίησης* στην έκφραση ενός πίνακα, ώστε πίνακες με στήλες τύπου PERIOD να μπορούν να κανονικοποιηθούν βασιζόμενες σε μία ή παραπάνω τέτοιες στήλες. Έστω T ένας πίνακας που περιέχει μια στήλη περιόδου P. Αν, αγνοώντας τις τιμές στην P, οι γραμμές R1 και R2 είναι ίδιες, τότε οι R1 και R2 λέγονται ότι είναι *ισοδύναμες ως προς την τιμή (value equivalent)* ως προς την P. Όταν ο πίνακας T κανονικοποιηθεί ως προς την P, το αποτέλεσμα R είναι ένας πίνακας όπου:

- Οι R και T έχουν τον ίδιο τύπο γραμμής
- Ως προς την P, κάθε γραμμή στον T είναι τιμή-ισοδύναμη με κάποια γραμμή στον R, και κάθε γραμμή στον R είναι τιμή-ισοδύναμη με κάποια γραμμή στον T.
- Δεν υπάρχουν δυο διαφορετικές αλλά τιμή-ισοδύναμες γραμμές στον R που να έχουν τιμές που να καλύπτουν ή να συναντούν η μία την άλλη.

#### 5.4.6 Μετατροπές περιόδων και ταξινόμηση

Δυο τιμές τύπου περιόδου είναι *αμοιβαία αναθέσιμες (mutually assignable)*, αν και μόνο αν οι αντίστοιχοι τύποι-στοιχείου είναι αμοιβαία αναθέσιμοι, και είναι *αμοιβαία συγκρίσιμες (mutually comparable)* αν και μόνο αν οι αντίστοιχοι τύποι-στοιχείου είναι αμοιβαία συγκρίσιμοι.

Δυο περίοδοι ταξινομούνται στα αρχικά τους όρια, ή , αν αυτά είναι ίσα, στα τελικά τους όρια, όπως περιγράφεται πιο αναλυτικά στην υποενότητα "Κατηγορήματα περιόδων".

#### 5.4.7 Κατηγορήματα περιόδων

Οι σχέσεις του Allen μοντελοποιούνται ως εξής: Η περίοδος P1 *προηγείται* της περιόδου P2 αν LAST (P1) είναι μικρότερο από BEGIN (P2) . Η περίοδος P1 *περιέχει* την περίοδο P2 αν BEGIN (P1) είναι μικρότερο ή ίσο του BEGIN (P2) και LAST (P1) είναι μεγαλύτερο ή ίσο του LAST (P2) . Η περίοδος P1 *συναντά* την περίοδο P2 αν END (P1) είναι ίσο με BEGIN (P2) , ή END (P2) είναι ίσο με BEGIN (P1) . Η περίοδος P1 *καλύπτει* την περίοδο P2 αν BEGIN (P1) είναι μικρότερο ή ίσο με το LAST (P2) και BEGIN (P2) είναι μικρότερο ή ίσο με το BEGIN (P1) , ή ανάποδα.

### 5.5 ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [Alle83] J. F. Allen. Maintaining knowledge about temporal intervals. Communications of the ACM, vol 26, no 11, November 1983.
- [Alle84] J. F. Allen. Towards a general theory of action and time. Artif. Intell, vol 23, 1984
- [Jen+92] C.S. Jensen, J. Clifford, S.K. Gadia, A. Segev, R.T. Snodgrass. A Glossary or Temporal Database Concepts. SIGMOD RECORD, vol 21, no. 3, September 1991
- [MP91] R. Maiocchi, B. Pernici. Temporal Data Management Systems: A Comparative

View. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, Vol. 3, no. 4, December 1992

- [Βασ95] Κ. Βασιλάκης. Σχεδιασμός και Βελτιστοποιημένη Υλοποίηση ενός Συστήματος Διαχείρισης Βάσεων Δεδομένων Ιστορικού Τύπου, *Διδακτορική Διατριβή* (Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθήνας, Τμήμα Πληροφορικής), Οκτώβριος 1995
- [Σταϊ95] Δ. Στάϊκος, Χρονικές Βάσεις Δεδομένων, τεχνική αναφορά, ΕΜΠ, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Βάσεων Δεδομένων, 1995

