

Ausarbeitung zum

**Seminar: Imperfektion und Datenbanken
WS 2003/04**

Thema: Imperfektion in temporalen Daten

Prudence KOUAM
Betreuer: Heiko Schepperle

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	3
1.1. Einleitung	3
1.1.1. Motivation	3
1.1.2. Begriffe	3
1.2. Problemstellung	3
2. Modellierung von Temporalen Daten	5
2.1. Punkt-basierte Modellierung	5
2.2. Intervall-basierte Modellierung	5
2.3. Punkt- und Intervall-basierte Modellierung	7
2.4. Nicht-konvexe Intervalle	7
3. Imperfektion in temporalen Daten	8
3.1. Imperfektion bei Intervall-basierenden Ereignissen	8
3.2. Imperfektion bei punkt-basierenden Ereignisse	10
4. Anderer Ansatz	11
4.1. Indefinite temporale Information	11
5. Zusammenfassung	13
6. Referenzen	14

1. Einleitung und Problemstellung

1.1. Einleitung

Temporale Datenbanken sind ein wichtiges Thema im Bereich Informationssysteme. Viele Wissenschaftler haben schon damit begonnen, nach Datenbanksystemen zu suchen, die zeitliche Aspekte darstellen und temporale Objekte in vernünftiger Weise handhaben können. Solche Informationen sind nicht immer vollständig und genau, also teilweise imperfekt. In dieser Arbeit werde ich erklären, was man unter temporalen Daten und Imperfektion versteht, warum man überhaupt darüber sprechen soll, wie die temporalen Daten sich modellieren lassen und wie Imperfektionen bei solchen Daten auftreten können.

1.1.1. Motivation

Die Situationen des täglichen Lebens und die Informationen darüber sind oft von Ungewissheit, Ungenauigkeit und Unsicherheit geprägt. Der Mensch kann damit meist ohne größere Probleme umgehen, auch wenn keine eindeutigen und klaren Abgrenzungen vorhanden sind. Ereignisse finden zu einem bestimmten Zeitpunkt statt und auch Objekte und die Beziehungen zwischen ihnen bestehen nur über einen gewissen Zeitraum. So gibt es in der Praxis viele Anwendungen, in denen die Notwendigkeit besteht, den Zeitfaktor zu berücksichtigen.

1.1.2. Begriffe

Was sind temporale Daten?

Unter temporalen Daten versteht man Daten, die Informationen enthalten, die Zeit indiziert sind bzw. Zeitphänomene darstellen. Sie werden verwendet zur Darstellung verschiedener zeitabhängiger Zustände wie: „... um 5 Uhr...“ oder „... morgens...“.

Zeitangaben liegen in verschiedenen Granularitäten vor. Für die meisten Informationen kennen wir nur das Jahr oder den Monat oder den Tag oder auch nur die Uhrzeit des Ereignisses.

Die Menge von möglichen Zeitpunkten pro Zeitfolgeelement wird auf zwei beschränkt:

- Gültigkeitszeit (valid time)
- Aufzeichnungszeit (transaction time)

Die Gültigkeitszeit (valid time) bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem eine bestimmte Aussage gültig bzw. wirksam ist.

Die Aufzeichnungszeit (transaction time) bezeichnet den Zeitpunkt, zu dem eine bestimmte Eigenschaft oder Veränderung oder ein Ereignis in eine Datenbank gespeichert wird. Werden Aufzeichnungszeit und Gültigkeitszeit berücksichtigt, spricht man von bi-temporalen Daten.

Was ist Imperfektion?

Imperfektion bedeutet, dass aus unterschiedlichen Gründen keine vollständigen, korrekten, exakten, präzisen, vollkommenen und sicheren Angaben möglich sind.

1.2. Problemstellung

Probleme temporaler Daten sind in den vergangenen fünfzehn Jahren bereits mehrfach Gegenstand von Untersuchungen gewesen. Zum Beispiel in der Logik und im Bereich temporale Datenbanken. Konventionelle Datenbanken speichern nur den aktuellen Zustand der realen Welt. Solche Datenbanken, bei denen zusätzlich zum aktuellen Zustand der Daten auch deren zeitliche Entwicklung recherchierbar und änderbar ist, werden als **temporalen Datenbanken** bezeichnet.

Warum temporale Daten?

Zeit ist ein wichtiger Aspekt fast aller Phänomene der realen Welt. In vielen Anwendungen muss festgehalten werden, in welchen zeitlichen Bereichen ein Datensatz gültig ist und in welchen zeitlichen Bereichen ein Datensatz geändert und gespeichert wird. Ereignisse bewirken Änderungen eines Zustandes, das heißt mit der Zeit ändert sich der Zustand von Ereignissen.

In der Praxis ist es oftmals erforderlich, dass zu einem bestimmten Objekt, nicht nur eine Menge an Informationen verfügbar, sondern auch ein zeitlicher Zusammenhang von großer Bedeutung ist. Die Gesamtheit dieser Informationen wird Historie (Geschichte des Objektes) oder Zeitfolge genannt. Die Schwierigkeit besteht darin, diese Informationen effizient zu verwalten.

Warum Imperfektion?

Imperfektion bzw. Unvollkommenheit tritt auf wenn:

- das Wissen über den zeitlichen Zusammenhang unvollständig ist, z.B.: „er kommt heute“,
- der zeitliche Zusammenhang nicht absolut angegeben werden kann, z.B.: „zwischen 10 und 12 Uhr“,
- das Ergebnis einer Anfrage nicht eindeutig bestimmt ist, z.B.: „Finden Sie ein Mann, der älter als 20 ist.“

2. Modellierung von Temporalen Daten

Bevor ich die Imperfektionen in temporalen Daten zeige, beschreibe ich, wie temporale Daten sich modellieren lassen. Die Struktur temporaler Daten hat zu mehreren Debatten geführt, nämlich bezüglich der ontologischen Primitive. Die Hauptkandidaten für ontologische Primitive sind Zeitpunkte (Timepoints) und Intervalle (Intervals).

Die temporale Struktur hat folgende Eigenschaften bezüglich des Zeitflusses:

- partielle Ordnung oder Totale Ordnung
- kontinuierlich oder diskret
- verankert oder unverankert
- beschränkt und unbeschränkt.

Nach [2] werden im Konzept Temporaler Daten 4 Arten der Modellierung unterschieden,

- Punkt-basierte Modellierung
- Intervall-basierte Modellierung
- Punkt und Intervall-basierte Modellierung
- Nicht-Konvexe Intervalle

2.1. Punkt-basierte Modellierung

Hier hat man ausschließlich Kenntnisse über Zeitpunkte. Operationen sind unabhängig von Intervallen. Intervalle haben keine semantische Bedeutung.

Zwei Typen von temporalen Eigenschaften werden in diesem temporale Formalismus eingeführt: Ereignisse und Fakten. Wobei Fakten über Zeitpunkten interpretiert werden. Man kann Zeitpunkte definieren als eine Menge von Zeit, für die sich Anfangs- und Endzeit nicht unterscheiden.

Beispiel:

Ein Beispiel für die punkt-basierte Modellierung ist: „Wir fanden einen Brief um 10.30 Uhr.“ Hier hat man die Information über die Zeit, zu der der Brief gefunden wurde. Ein weiteres Beispiel ist: „Am 21. Januar 2004 war ich in einer Vorlesung.“ Hier kennt man nur den Tag. Man unterscheidet 3 Basisrelationen zwischen zwei Zeitpunkten:

before ($<$), equals ($=$) und after ($>$).

Für zwei Zeitpunkte t_1 und t_2 mit $t_1 \neq t_2$ gilt entweder: „ $t_1 < t_2$ “ oder „ $t_1 = t_2$ “ oder „ $t_1 > t_2$ “ wobei „ $<$ “ als „zeitlich vor“ zu interpretieren ist.

Durch Disjunktion der obigen drei Relationen, bekommt man 8 Relationen (2 Zeitpunkte nehmen an eine Relation teil) zwischen 2 Zeitpunkten: ($!$, $<$, $>$, $=$, \leq , \geq , \neq , $?$) wobei „ $!$ “ die Relationen, die nie vorkommen bezeichnet, und „ $?$ “ die Relationen, die immer vorkommen oder wahr sind. Man kann den Punkt-basierten Formalismus in der Punkt-Algebra repräsentieren.

Die generelle Kritik gegen die Punkt-basierte Modellierung ist, dass sie zu künstlichen Charakter habe.

2.2. Intervall-basierte Modellierung

Das zweite ontologische Primitiv, mit dem temporale Daten repräsentiert werden können, bezeichnet man als Zeitperiode, Zeitintervall oder Intervall (kurz geschrieben).

Bei der ersten Modellierung handelt es sich um Zusammenhänge zwischen einzelnen Ereignissen, die meist als Zeitpunkte begriffen werden. Jetzt sollen Ereignisse als Intervalle betrachtet werden. Als Folge dessen lassen sich dann neue Zusammenhänge aufzeigen, die zuvor nicht berücksichtigt wurden.

Beispiele für temporale Intervalle:

„... im 18. Jahrhundert...“ oder „während der Weihnachtsfeier 2003...“ oder „...10:00 bis 11:30 Uhr am 13. Juni 2003...“. Man sieht hier, dass ein Ereignis innerhalb des ganzen Intervalls gültig sein soll.

Der Intervall-basierte Formalismus war für viele berühmte Wissenschaftler (Allen, Hayes, Ladkin, etc.) im Bereich Künstliche Intelligenz von großer Bedeutung.

Als erster hat Allen [1] den Intervall-basierten temporalen Formalismus vorgestellt. Er bezeichnet diesen Ansatz als fundamental für Aktionen und Pläne im Bereich Künstliche Intelligenz.

Allens Formalismus:

Nach Allen besitzen Ereignisse zwei Erscheinungsformen.

Erstens können sie als Zeitpunkt in der Zeit auftreten. Zum Beispiel ist „wir fanden einen Brief um 10h“ das Ereignis, das zu einem Zeitpunkt eingetreten ist. Hingegen benötigt das Ereignis „wir fanden gestern einen Brief“ zur Beschreibung ein Zeitintervall. Allen argumentiert, dass eine Periode nur ein zeitliches Grundelement sein soll.

Seine Theorie der Intervallalgebra („Interval calculus“) basiert auf 13 Relationen. Diese Relationen können zusammengesetzt werden, um die Beziehungen zwischen zwei Intervallen darzustellen. Allen's temporaler Formalismus befasst sich ausschließlich mit konvexen Intervallen.

Definition: Sei $[S, \leq]$ eine partiell geordnete Menge und seien a, b zwei Elemente aus S mit $a \leq b$, dann wird die Menge $\{x \mid a \leq x \leq b\}$ als Intervall von S mit $[a, b]$ bezeichnet.

Die Allen's 13 Relationen sind in unten stehender Tabelle dargestellt:

Sie repräsentieren 7 Relationen und ihre Inverse wobei equals selbstinverse ist.

Relation	Inverse Relation	Symbol	Symbol für Inverse	graphische Darstellung
X before Y	after	<	>	XXX YYY
X equal Y	equal	=	=	XXX YYY
X meets Y	met_by	m	mi	XXXYYY
X overlaps Y	overlapped_by	o	oi	XXX YYY
X during Y	contains	d	di	XXX YYYYYY
X starts Y	started_by	s	si	XXX YYYYYY
X finishes Y	finished_by	f	fi	XXX YYYYYY

Abb. 1-1: Graphische Darstellung von Allen's 13 Relationen.

Beispiel:

Die Anwendung von Allen's 13 Relationen lässt sich an folgendem Beispiel verdeutlichen:

„75% der Kunden kaufen Erdnüsse, wenn Butter ins Sonderangebot kommt und bevor Brot ausverkauft ist.“

Es handelt sich hier um drei intervall-basierende Ereignisse.

A = „Kunden kaufen Erdnüsse“, B = „Butter kommt ins Sonderangebot“ und

C = „Brot ist ausverkauft“.

Es lassen sich hierbei verschiedene zeitliche Relationen aufstellen. Zum Beispiel kann das Intervall A während des Intervalls B stattfinden oder A kann B überlappen oder A kann B von links berühren. Ist das der Fall, kann man dies so schreiben: $A \{d, o, m\} B$. B kann nur vor C stattfinden. In diesem Fall gilt: B before C

Zwei Ereignisse können aufeinander folgen ($X < Y$), zur gleichen Zeit stattfinden ($X = Y$), aneinander anschließen ($X m Y$), sich überschneiden ($X o Y$), ineinander enthalten sein ($X d Y$), zeitgleich beginnen ($X s Y$) und zeitgleich enden ($X f Y$).

Zu jeder diese Relation gibt es eine inverse Relation, wobei „=“ selbstinvers ist.

2.3. Punkt- und Intervall-basierte Modellierung

Der Punkt-basierte Ansatz wurde kritisiert wegen seines zu künstlichen Charakters und da der Intervall-basierte Ansatz nicht ausreichend war, wurden die beiden Ansätze zum Punkt- und Intervall-basierte Ansatz verknüpft.

Dieser Ansatz besteht aus einer Struktur $\langle P1, P2, AV \rangle$ wobei P1 die Menge aus Zeitpunkten, P2 die Menge aus Intervallen und AV die Menge aus folgenden 26 Relationen darstellt:

- Die 3 Basis-Relationen zwischen Zeitpunkten: before, after und equals.
- Allen's 13 Relationen zwischen zwei Intervallen: before, meets, overlaps, during, start, finishes, equals und ihre Inversen.
- 10 zusätzliche Relationen zwischen Zeitpunkten und Intervallen: precedes, starts, during, finishes, after und ihre Inversen.

Der Zeitpunkt ist ein Teil eines Intervalls und ein Intervall ist eine Menge von Zeitpunkten.

Hier entsteht das Divided Instant Problem:

Seien P1 und P2 zwei Intervalle und i der Zeitpunkt, zu dem P1 endet und P2 beginnt.

- In P1 gilt: „Fred frühstückt“ (A)
- In P2 gilt: „Fred frühstückt nicht“ ($\neg A$)

Zu welchem Intervall gehört i?

Zu P1, zu P2, zu beiden oder zu keinem?

- Wenn zu P1 oder zu P2, dann gibt es kein Problem, aber
- wenn zu beiden, dann müsste A und $\neg A$ gelten.

Wenn zu keinem, dann dürfte weder A noch $\neg A$ gelten.

2.4. Nicht-konvexe Intervalle

Ein weiterer Punkt, der betrachtet werden muss, sind nicht-konvexe Intervalle.

Nicht-Konvexe Intervalle treten häufig auf bei:

- periodisch auftretenden Ereignissen, wie zum Beispiel: „John frühstückt jeden morgen.“
- unterbrochenen Ereignissen, wie zum Beispiel: „John hört auf zu frühstücken, um ein Telefongespräch entgegenzunehmen. Dann frühstückt er weiter.“

Nicht-konvexe Intervalle bestehen aus mehreren konvexen Sub-Intervallen.

3. Imperfektion in temporalen Daten

In diesem Kapitel wird die Imperfektion bei temporalen Daten eingeführt.

3.1. Imperfektion bei Intervall-basierenden Ereignissen

Unbestimmte Informationen werden durch die Disjunktion von Relationen ausgedrückt.

Beispiel:

X overlaps Y oder X meets Y kann man als $X\{o, m\}Y$ schreiben.

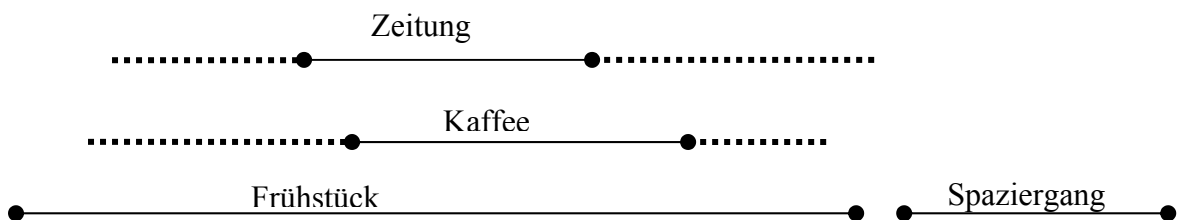
Wenn man diese Schreibweise hat. $X\{b, bi, m, mi\}Y$, bedeutet dies entweder, dass

X before Y oder X after Y oder X meets Y oder X met_by Y. Von diesen vier Relationen ist genau eine zutreffend, aber wir wissen nicht genau welche!

Ein konkretes Beispiel ist: „Fred liest eine Zeitung, während er frühstückt. Er legt die Zeitung beiseite, um den Rest Kaffee zu trinken. Nach dem Frühstück geht er spazieren.“

In diesem Beispiel können wir uns mindestens folgende 2 konsistente Szenarien vorstellen.

1. Zeitung {o} Kaffee, Zeitung {d} Frühstück, Kaffee {d} Frühstück, Frühstück {b} Spaziergang.
2. Zeitung {m} Kaffee, Zeitung {o} Frühstück, Kaffee {d} Frühstück, Frühstück {b} Spaziergang.



..... Diese Linie beschreibt den möglichen Zeitverlauf.

●—————● Diese Linie beschreibt den sicheren Zeitverlauf.

In diesem Beispiel kann man nicht genau sagen, in welcher Reihenfolge die Aktionen stattgefunden haben, wann genau welches Ereignis anfängt und wann es endet. Wir haben nur die Beziehungen zueinander.

Kompositionstabelle für Intervall-basierte Ereignisse

Br2C	<	>	d	di	o	oi	m	mi	s	si	f	fi
A r1 B												
"before" <	<	no info	< o m d s	<	<	< o m d s	<	< o m d s	<	<	< o m d s	<
"after" >	no info	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	> oi mi d f	>	>	>
"during" d	<	>	d	no info	< o m d s	> oi mi d f	<	>	d	> oi mi d f	d	< o m d s
"contains" di	< o m di fi	> oi di mi si	o oi dur con =	di	o di fi	oi di si	o di fi	oi di si	di fi o	di	di si oi	di
"overlaps" o	<	> oi di mi si	o d s	< o m di fi	< o m	o oi dur con =	<	oi di si	o	di fi o	d s o	< o m
"over-lapped-by" oi	< o m di fi	>	oi d f	> oi mi di si	o oi dur con =	> oi mi	o di fi	>	oi d f	oi > mi	oi	oi di si
"meets" m	<	> oi mi di si	o d s	<	<	o d s	<	f fi =	m	m	d s o	<
"met-by" mi	< o m di fi	>	oi d f	>	oi d f	>	s si =	>	d f oi	>	mi	mi
"starts" s	<	>	d	< o m di fi	< o m	oi d f	<	mi	s	s si =	d	< m o
"started by" si	< o m di fi	>	oi d f	di	o di fi	oi	o di fi	mi	s si =	si	oi	di
"finishes" f	<	>	d	> oi mi di si	o d s	> oi mi	m	>	d	> oi mi	f	f fi =
"finished-by" fi	<	> oi mi di si	o d s	di	o	oi di si	m	si oi di	o	di	f fi =	fi

Abbildung 3-1: Kompositionstabelle für Intervall-basierte Ereignisse

Die Kompositionstabelle kann als ein System von Abhängigkeiten von Beschränkungen (Constraints) aufgefasst werden.

Imperfektionen treten häufig auf bei Disjunktion von Relationen.

Mögliche Fälle:

- eine passende Relation: $\text{meets}(t, t'') \text{ and } \text{meets}(t'', t') \rightarrow \text{before}(t, t')$
- mehrere mögliche Relationen: $\text{contains}(t, t') \text{ and } \text{meets}(t'', t') \rightarrow \text{contains}(t, t') \text{ or } \text{finished_by}(t, t') \text{ or } \text{overlaps}(t, t')$
- keine Information: $\text{before}(t, t'') \text{ and } \text{after}(t'', t')$

3.2. Imperfektion bei punkt-basierenden Ereignisse

Imperfektion kann man auch im punkt-basierten Fall beschreiben werden. Sie tritt auch hier immer bei Disjunktion von Relationen auf.

Wir zeigen es anhand der folgenden Beispiele.

1. Wenn $(X < Y)$ und $(Y < Z)$, dann ist $(X < Z)$,
2. aber wenn $(X > Y)$ und $(Y < Z)$, wie verhält sich X gegenüber Z ?

Entweder $\{(X < Z) \text{ oder } (X = Z) \text{ oder } (X > Z)\} \rightarrow X \{<, =, >\} Z$

Graphische Darstellung (mit den Ereignissen X, Y und Z)

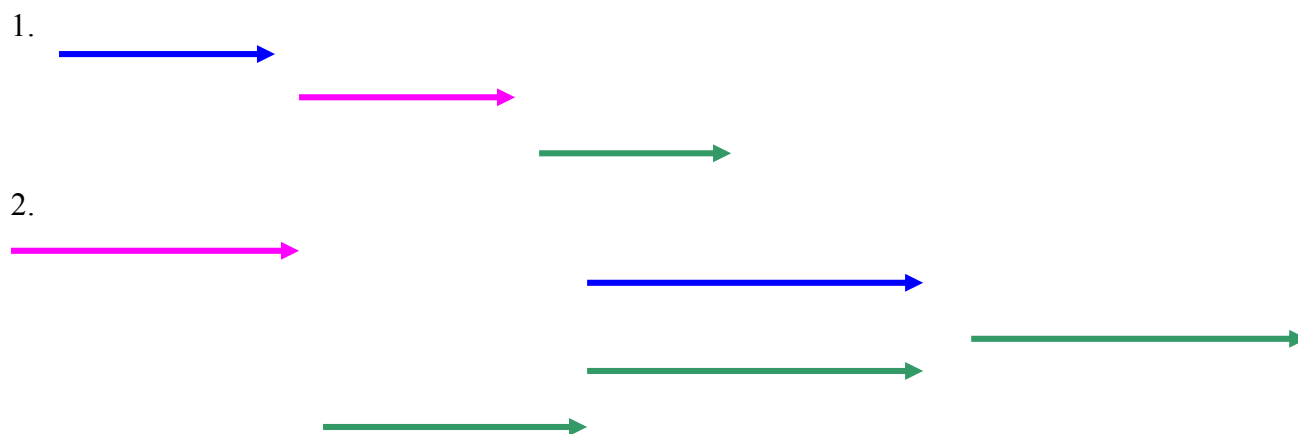


Abb.3-2: Graphische Darstellung von Beispiel 1. und Beispiel 2.

	<	=	>
<	<	<	<, =, >
=	<	=	>
>	<, =, >	>	>

Example: $(< \circ =) \equiv <$

- $(< \cup =) \circ < \equiv <$
- $(< \cup >) \circ < \equiv (< \cup = \cup >)$
- $(< \cup =)^{\sim} \equiv (> \cup =)$
- $(< \cup =) \cap (> \cup =) \equiv =$

Abb.3-3: Kompositionstabelle für Punkt-basiertes Ereignis.

4. Anderer Ansatz

4.1. Indefinite temporale Information

Wir haben **indefinite temporale Information**, wenn die Zeit, die mit einem Ereignis oder Fakt verbunden ist, entweder unerkennbar oder nicht ganz klar spezifiziert ist (siehe[3]).

- Die Zeit, die mit einem Fakt oder einem Ereignis verbunden ist, wird spezifiziert durch die Qualität von Verhältnissen zwischen eine Menge von absoluten Zeiten.

Beispiel:

Ein Beispiel ist folgendes:

„John wurde Chef nach März 1999.“ Das genaue Datum kennt man nicht, man weiß nur, dass bis März 1999 John noch nicht Chef war.

- Die Zeit, die mit einem Fakt oder einem Ereignis verbunden ist, wird durch die Verhältnisse zwischen Zeiten mit anderen Fakten oder Ereignissen verbunden.

Beispiel:

„Die Explosion findet statt, nachdem John die Bühne verlassen hat.“ und „die Explosion findet 5 bis 10 Minuten, nachdem John die Bühne verlassen hat, statt.“ Hier weißt man nicht genau, wann John die Bühne verlassen hat, aber man weißt dass er nicht auf der Bühne war, als die Explosion stattgefunden hat.

Beispiel von indefiniter temporaler Information mit Bedingung:

Es seien folgende Tabellen gegeben:

ON SERVICE

Auto	Stadt	Zeit	Bedingung
A1	Athens	i1	$w1L \leq i1L, i1R \leq w1R$
A2	Athens	i2	$w2L \leq i2L, i2R \leq w2R$

TRIP

Auto	Von	Nach	Zeit	Bed.
A3	Athens	Patra	[5, 8]	True
A4	Patra	Athens	[9, x]	True

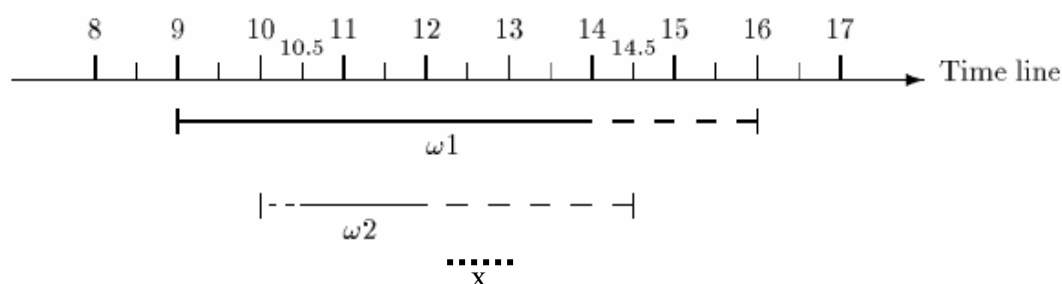


Abb.4-1: temporale Tabelle.

In diesem Beispiel seien w_1 , w_2 und x die sogenannten „**E-Variablen**“. Das heißt Werte, die existieren, aber nicht genau bekannt sind.

Sei $G: w_1L = 9, 14 \leq w_1R \leq 16, 10 \leq w_2L \leq 10.5,$

$$2 \leq w_2R - w_2L \leq 4, 12 \leq x \leq 13$$

w_1 und w_2 repräsentieren die Zeitintervalle, deren Dauer nicht genau bekannt ist, und x repräsentiert den Zeitpunkt, dessen Position auf der Zeitachse nicht genau bekannt ist.

G gibt an, dass:

- Intervall w_1 um 9 Uhr anfängt und zwischen 14 Uhr und 16 Uhr endet,
- Intervall w_2 irgendwann zwischen 10 Uhr und 10 Uhr 30 anfängt und 2 bis 4 Zeitperioden dauert,
- Zeitpunkt x zwischen 12 und 13 Uhr liegt.

Alle diese Informationen sind in obiger Abbildung repräsentiert. Dabei stellen gestrichelte Linien bildlich die Intervalle dar, für die man indefinite Informationen hat und durchgezogene Linien Intervalle mit definiten Informationen.

5. Zusammenfassung

Wie die vorliegende Arbeit zeigt, gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten, um Zeitaspekte von Daten zu modellieren. Aus unterschiedlichen Gründen liegen manche Daten bzw. Informationen unpräzise, unvollständig, ungenau, also in einem Wort „imperfekt“ vor. Dies ist auch der Fall bei temporalen Daten. Um diese Imperfektion untersuchen zu können, müssen wir die Modellierungsmöglichkeiten solcher Daten kennen. Wir haben gesehen, dass Imperfektion häufig bei Disjunktionen von Relationen auftritt, das heißt, wenn man eine Verknüpfung von zwei oder mehreren temporalen Relationen macht, bekommt man keine präzise Aussage. Es wurde auch verdeutlicht, dass es keine universell einsetzbaren Zeitformalismen geben kann, denn zur Darstellung der Zeit werden sowohl Zeitpunkt als auch Zeitintervall als Basiselement genommen. Demzufolge sind Zeitformalismen insbesondere von ihrer jeweils intendierten Anwendung abhängig. Die Lösung für diese Probleme ist noch immer Gegenstand der Forschung.

6. Referenzen

- [1] James F. Allen. *Maintaining Knowledge about Temporal Intervals*. Communications of the ACM, 26(11): pages 832-843, 1983.
- [2] Stephanie Spranger. *Representation of Temporal knowledge for Web-Based Applications*, pages 21-33, 2002. Diplomarbeit, Institut für Informatik, Universität München.
- [3] Manolis Koubarakis: *Database Models for Infinite and Indefinite Temporal Information*. Information Systems 19 (2) (1994), pages 141-173.