

Skript zur Vorlesung:

Datenbanksysteme

Wintersemester 2018/2019

Kapitel 9c

Transaktionen – Integrität

Vorlesung: Prof. Dr. Christian Böhm

Übungen: Dominik Mautz

<http://dmm.dbs.ifi.lmu.de/dbs>



Aufgaben eines DBMS

Wahrung eines korrekten DB-Zustands unter realen Benutzungsbedingungen, d.h.

1. Synchronisation (Concurrency Control)

Schutz vor Fehlern durch sich gegenseitig störenden nebenläufigen Zugriff mehrerer Benutzer

2. Datensicherheit (Recovery)

Schutz vor Verlust von Daten durch technische Fehler (Systemabsturz)

3. Integrität (Integrity)

Schutz vor Verletzung der Korrektheit und Vollständigkeit von Daten durch *berechtigte* Benutzer

Integritätsbedingungen

- Integritätsbedingungen (Integrity Constraints)
 - Bedingungen, die von einer Datenbank zu jedem Zeitpunkt erfüllt sein müssen
 - Typen
 - Schlüssel-Integrität
 - Referentielle Integrität
 - Multiplizitäten Constraints
 - Allgemeine Constraints
 - Diese Constraints sind
 - statisch, d.h. sie definieren Einschränkungen der möglichen **DB-Zustände** (Ausprägungen der Relationen)
 - dynamisch, d.h. sie spezifizieren Einschränkungen der möglichen **Zustandsübergänge** (Update-Operationen)

Integritätsbedingungen

- Beispiele
 - Eindeutigkeit von Schlüssel-Attributen (Schlüssel-Integrität)
 - Ein Fremdschlüssel, der in einer anderen Relation auf seine Basisrelation verweist, muss in dieser Basisrelation tatsächlich existieren (Referentielle Integrität)
 - Bei 1: m -Beziehungen müssen die Kardinalitäten beachtet werden – funktioniert z.B. durch Umsetzung mittels Fremdschlüssel auf der m -Seite (Multiplizitäten Constraint)
 - Wertebereiche für Attribute müssen eingehalten werden (allgemeines Constraint)
Achtung: das Typkonzept in relationalen DBMS ist typischerweise sehr einfach, daher können Attribute mit der selben Domain verglichen werden, obwohl es möglicherweise semantisch keinen Sinn macht (z.B. MatrNr und VorlesungsNr)
 - ...
- Von wem werden diese und andere Integritätsbedingungen überwacht...
 - ... vom DBMS?
 - ... vom Anwendungsprogramm?

Integritätsbedingungen

- Integritätsbedingungen sind Teil des Datenmodells
 - Wünschenswert ist eine zentrale Überwachung im DBMS innerhalb des Transaktionsmanagements
 - Einhaltung wäre unabhängig von der jeweiligen Anwendung gewährleistet, es gelten dieselben Integritätsbedingungen für alle Benutzer
- Für eine Teilmenge von Integritätsbedingungen (`primary key`, `unique`, `foreign key`, `not null`, `check`) ist dies bei den meisten relationalen Datenbanken realisiert => **deklarative Constraints**
- Für anwendungsspezifische Integritätsbedingungen ist häufig eine Definition und Realisierung im Anwendungsprogramm notwendig
 - Problem: Nur bei Verwendung des jeweiligen Anwendungsprogrammes ist die Einhaltung der Integritätsbedingungen garantiert sowie Korrektheit etc.
 - Meist: einfache Integritätsbedingungen direkt in DDL (deklarativ), Unterstützung für komplexere Integritätsbedingungen durch Trigger-Mechanismus => **prozedurale Constraints**

Deklarative Constraints

- Deklarative Constraints sind Teil der Schemadefinition (`create table ...`)
- Arten:
 - Schlüsseleigenschaft: `primary key (einmal)`, `unique (beliebig)`
 - `unique` kennzeichnet Schlüsselkandidaten
 - `primary key` kennzeichnet den Primärschlüssel
 - keine Nullwerte: `not null` (implizit bei `primary key`)
 - Typintegrität: `Datentyp`
 - Wertebedingungen: `check (<Bedingung>)`
 - referenzielle Integrität: `foreign key ... references ...`
(nur Schlüssel)

Deklarative Constraints

- Constraints können
 - attributsbezogen (für jeweils ein Attribut)
 - tabellenbezogen (für mehrere Attribute)definiert werden.
- Beschreibung im Entwurf meist durch geschlossene logische Formeln in der Prädikatenlogik 1.Stufe

Beispiele

- *Es darf keine zwei Räume mit gleicher R_ID geben.*
$$IB_1 : \forall r_1 \in \text{Raum} (\forall r_2 \in \text{Raum} (r_1[R_ID] = r_2[R_ID] \Rightarrow r_1 = r_2))$$
- *Für jede Belegung muss ein entsprechender Raum existieren.*
$$IB_2 : \forall b \in \text{Belegung} (\exists r \in \text{Raum} (b[R_ID] = r[R_ID]))$$

Deklarative Constraints

- Umsetzung in SQL?
 - Bei **IB_1** handelt es sich um eine Eindeutigkeitsanforderung an die Attributswerte von R_ID in der Relation *Raum* (Schlüsseleigenschaft).
 - **IB_2** fordert die referenzielle Integrität der Attributswerte von R_ID in der Relation *Belegung* als Fremdschlüssel aus der Relation *Raum*.

```
CREATE TABLE raum (  
    r_id          varchar2(10)          UNIQUE / PRIMARY KEY  
    ( $IB_1$ )  
    ...  
);
```

```
CREATE TABLE belegung (  
    b_id          number(10),  
    r_id          varchar2(10)  
    CONSTRAINT fk_belegung_raum          REFERENCES raum(r_id)  
    ( $IB_2$ )  
    ...  
);
```


Deklarative Constraints

- Überwachung von Integritätsbedingungen durch das DBMS
- *Definitionen:*
 - S sei ein Datenbankschema
 - IB sei eine Menge von Integritätsbedingungen I über dem Schema S
 - DB sei Instanz von S , d.h. der aktuelle Datenbankzustand (über dem Schema S)
 - U sei eine Update-Transaktion, d.h. eine Menge zusammengehöriger Einfüge-, Lösch- und Änderungsoperationen
 - $U(DB)$ sei der aktuelle Datenbankzustand nach Ausführen von U auf DB
 - $Check(I, DB)$ bezeichne den Test der Integritätsbedingung $I \in IB$ auf dem aktuellen Datenbankzustand DB

$$Check(I, DB) = \begin{cases} true, & \text{falls } I \text{ in } DB \text{ erfüllt ist} \\ false, & \text{falls } I \text{ in } DB \text{ nicht erfüllt ist} \end{cases}$$

Deklarative Constraints

- *Wann sollen Integritätsbedingungen geprüft werden?*
 - 1. Ansatz: Periodisches Prüfen der Datenbank *DB* gegen **alle** Integritätsbedingungen:
for each *U* <seit letztem Check> **do**
if ($\forall I \in IB: \text{Check}(I, U(DB))$) **then** <ok>
else <Rücksetzen auf letzten konsistenten Zustand>;

Probleme:

- Rücksetzen auf letzten geprüften konsistenten Zustand ist aufwändig
- beim Rücksetzen gehen auch korrekte Updates verloren
- erfolgte lesende Zugriffe auf inkonsistente Daten sind nicht mehr rückgängig zu machen

Deklarative Constraints

- 2. Ansatz: Inkrementelle Überprüfung bei jedem Update U
 - Voraussetzung: Update erfolgt auf einem konsistenten Datenbankzustand
 - dazu folgende Erweiterung:

$$Check(I, U(DB)) = \begin{cases} true, & \text{falls } I \text{ durch Update } U \text{ auf } DB \text{ nicht verletzt ist} \\ false, & \text{falls } I \text{ durch Update } U \text{ auf } DB \text{ verletzt ist} \end{cases}$$

dann:

```
<führe U durch>;  
if ( $\forall I \in IB: Check(I, U(DB))$ ) then <ok>  
else <rollback U>;
```

Deklarative Constraints

- Bei jedem Update \mathcal{U} alle Integritätsbedingungen gegen die gesamte Datenbank zu testen ist immer noch zu teuer, daher Verbesserungen:
 1. Nur betroffene Integritätsbedingungen testen; z.B. kann die referenzielle Integritätsbedingung $Belegung \rightarrow Raum$, nicht durch
 - Änderungen an der Relation *Dozent* verletzt werden
 - Einfügen in die Relation *Raum* verletzt werden
 - Löschen aus der Relation *Belegung* verletzt werden(siehe nächste Folien)
 2. Abhängig von \mathcal{U} nur vereinfachte Form der betroffenen Integritätsbedingungen testen; z.B. muss bei Einfügen einer *Belegung* x nicht die gesamte Bedingung IB_2 getestet werden, sondern es genügt der Test von:

$$\exists r \in Raum (x[R_ID] = r[R_ID])$$

Deklarative Constraints

- *Was muss eigentlich geprüft werden?*

Beispiel: Referentielle Integrität

- Gegeben:
 - Relation R mit Primärschlüssel $\underline{\alpha}$ (potentiell zusammengesetzt)
 - Relation S mit Fremdschlüssel β (potentiell zusammengesetzt) aus Relation R
- Referentielle Integrität ist erfüllt, wenn für alle Tupel $s \in S$ gilt
 1. $s.\beta$ enthält nur **null**-Werte oder nur Werte ungleich **null**und
 2. Enthält $s.\beta$ keine **null**-Werte, existiert ein Tupel $r \in R$ mit $s.\beta = r.\underline{\alpha}$
- D.h.
 - Der Fremdschlüssel β in S enthält genauso viele Attribute wie der Primärschlüssel $\underline{\alpha}$ in R
 - Die Attribute haben dieselbe Bedeutung, auch wenn sie umbenannt wurden
 - ***Es gibt keine Verweise auf ein undefiniertes Objekt (dangling reference)***
Das Tupel s in S wird hier auch ***abhängiger Datensatz*** (vom entsprechenden r in R) genannt

Deklarative Constraints

- Gewährleistung der Referentiellen Integrität
 - Es muss sichergestellt werden, dass keine dangling references eingebaut werden
 - D.h. für Relation R mit Primärschlüssel $\underline{\alpha}$ und Relation S mit Fremdschlüssel β aus R muss folgende Bedingung gelten:

$$\pi_{\beta}(S) \subseteq \pi_{\underline{\alpha}}(R)$$

(also alle gültigen Werte in β in S müssen auch in R vorkommen)

- Erlaubte Änderungen sind also:
 1. Einfügen von Tupel s in S, wenn $s.\beta \in \pi_{\underline{\alpha}}(R)$
(Fremdschlüssel β verweist auf ein existierendes Tupel in R)
 2. Verändern eines Wertes $w = s.\beta$ zu w' , wenn $w' \in \pi_{\underline{\alpha}}(R)$
(wie 1.)
 3. Verändern von $r.\underline{\alpha}$ in R nur, wenn $\sigma_{\beta=r.\underline{\alpha}}(S) = \emptyset$
(es existieren keine Verweise in S auf Tupel r mit Schlüssel $\underline{\alpha}$
also keine abhängigen Tupel in S)
 4. Löschen von r in R nur, wenn $\sigma_{\beta=r.\underline{\alpha}}(S) = \emptyset$
(wie 3.)

Andernfalls: ROLLBACK der entspr. TA

Deklarative Constraints

- Beim Löschen in R weitere Optionen:

Option	Wirkung
ON DELETE NO ACTION	Änderungsoperation wird zurückgewiesen, falls abhängiger Datensatz in S vorhanden
ON DELETE RESTRICT	
ON DELETE CASCADE	Abhängige Datensätze in S werden automatisch gelöscht; kann sich über mehrstufige Abhängigkeiten fortsetzen
ON DELETE SET NULL	Wert des abhängigen Fremdschlüssels in S wird auf <code>null</code> gesetzt
ON DELETE SET DEFAULT	Wert des abhängigen Fremdschlüssels in S wird auf den Default-Wert der Spalte gesetzt

Deklarative Constraints

– Wertebedingungen (statische Constraints nach **check**-Klauseln)

- Dienen meist zur Einschränkung des Wertebereichs
- Ermöglichen die Spezifikation von Aufzählungstypen,

z.B.

```
create table Professoren (  
    ...  
    Rang          character(2) check (Rang in ('W1', 'W2', 'W3')),  
    ...  
)
```

- Ermöglicht auch, die referentielle Integrität bei zusammen gesetzten Fremdschlüsseln zu spezifizieren (alle Teile entweder `null` oder alle Teile nicht `null`)
- Achtung: **check**-Constraints gelten auch dann als erfüllt, wenn die Formel zu **unknown** ausgewertet wird (kann durch **null**-Wert passieren!!!)
(Übrigens im Ggs. zu **where**-Bedingungen)

Deklarative Constraints

– Komplexere Integritätsbedingungen

- In einer `check`-Bedingung können auch Unteranfragen stehen => IBs können sich auf mehrere Relationen beziehen (Verallgemeinerung der ref. Int.)
- Beispiel:
 - Tabelle `pruefen` modelliert Relationship zwischen Student, Professor und Vorlesung
 - Das Constraint `VorherHoeren` garantiert, dass Studenten sich nur über Vorlesungen prüfen lassen können, die sie auch gehört haben

```
create table pruefen (  
    MatrNr      integer references Studenten ...  
    VorlNr      integer references Vorlesungen ...  
    PersNr      integer references Professoren ...  
    Note        numeric(2,1) check (Note between 1.0 and 5.0),  
    primary key (MatrNr, VorlNr)  
    constraint VorherHoeren  
        check(      exists ( select * from hoeren h, pruefen p where  
                                h.VorlNr = p.VorlNr and h.MatrNr = p.MatrNr  
                                )  
        )  
)
```

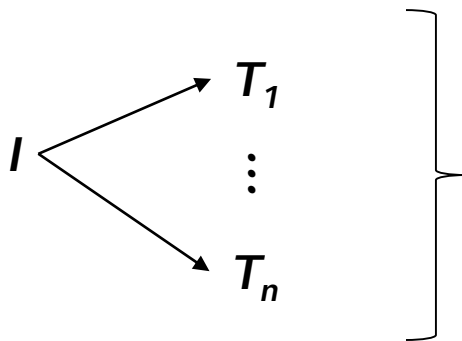
- Diese IBs werden leider kaum unterstützt (Lösung: Trigger)

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Motivation: Komplexere Bedingungen als bei deklarativen Constraints und damit verbundene Aktionen wünschenswert.
- Trigger: Aktion (typischerweise PL/SQL-Programm), die einer Tabelle zugeordnet ist und durch ein bestimmtes Ereignis ausgelöst wird.
- Ein Trigger enthält Code, der die mögliche Verletzung einer Integritätsbedingung bei einem bestimmten Ereignis-Typ testet und daraufhin bestimmte Aktionen veranlasst.
- mögliche Ereignisse: `insert`, `update`, `delete`
- zwei Arten:
 - **Befehls-Trigger** (*statement trigger*): werden einmal pro auslösendem Befehl ausgeführt.
 - **Datensatz-Trigger** (*row trigger*): werden einmal pro geändertem/eingefügtem/gelöschtem Datensatz ausgeführt.
- mögliche Zeitpunkte: vor (`BEFORE`) oder nach (`AFTER`) dem auslösenden Befehl

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Datensatz-Trigger haben Zugriff auf zwei Instanzen eines Datensatzes: vor und nach dem Ereignis (Einfügen/Ändern/Löschen)
=> Adressierung durch Präfix: `new.` bzw. `old.` (Syntax systemspezifisch)
- Befehlstrigger haben Zugriff auf die Änderungen durch die auslösenden Befehle (die typischerweise Tabellen verändern)
=> Adressierung durch `newtable` bzw. `oldtable` (Syntax systemspezifisch)
- Zu einer Integritätsbedingung I gehören in der Regel mehrere Trigger T_i



Je nach auslösendem Ereignis-Typ
unterschiedliche Trigger für die
Integritätsbedingung

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Aufbau eines Trigger-Programms:

```
create or replace trigger <trig_name>
before/after/instead of -- Trigger vor/nach/alternativ zu Auslöser ausführen
insert or update of <attrib1>, <attrib2>, ... or delete      -- Trigger-Ereignisse
on <tab_name>/<view_name>/                                -- zugehörige Tabelle od. View (DML-Trigger)
    <schema_name>/<db_name>                                -- Schema od. Datenbank (DDL-Trigger)
[for each row]                                             -- Datensatz-Trigger
when <bedingung>                                           -- zusätzliche Trigger-Restriktion
declare
...
begin
if inserting then <pl/sql Anweisungen>
end if;
if updating (<attrib1>) then <pl/sql Anweisungen>
end if;
if deleting then <pl/sql Anweisungen>
end if;
...
end;                                                         -- Code hier gilt für alle Ereignisse
```

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Beispiel

- Ausgangspunkt: Relation *Period_Belegung* mit regelmäßig stattfindenden Lehrveranstaltungen in einem Hörsaal
- Hier sollen folgende Bedingungen gelten:

$$\begin{aligned} \forall p \in \text{Period_Belegung} \quad & (0 \leq p[\text{Tag}] \leq 6 \wedge p[\text{Erster_Termin}] \leq p[\text{Letzter_Termin}] \\ & \wedge \text{Wochentag}(p[\text{Erster_Termin}]) = p[\text{Tag}] \\ & \wedge \text{Wochentag}(p[\text{Letzter_Termin}]) = p[\text{Tag}]) \end{aligned}$$

Formulierung als deklaratives Constraint:

```
ALTER TABLE Period_Belegung ADD CONSTRAINT check_day
CHECK (
    (Tag between 0 and 6) and
    (Erster_Termin <= Letzter_Termin) and
    (to_number (to_char (Erster_Termin, 'd')) = Tag) and
    (to_number (to_char (Letzter_Termin, 'd')) = Tag)
);
```

Prozedurale Constraints (Trigger)

Formulierung als prozedurales Constraint (Trigger):

```
CREATE OR REPLACE TRIGGER check_day
    BEFORE
    INSERT OR UPDATE
    ON Period_Belegung
    FOR EACH ROW
    DECLARE
        tag number; et date; lt date;
    BEGIN
        tag := new.Tag;
        et := new.Erster_Termin; lt := new.Letzter_Termin;
        if (tag < 0) or (tag > 6) or (et > lt) or
            (to_number(to_char(et, 'd')) != tag) or
            (to_number(to_char(lt, 'd')) != tag)
        then
            raise_application_error(-20089, 'Falsche Tagesangabe');
        end if;
    END;
```

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Verwandtes Problem: Sequenzen für die Erstellung eindeutiger IDs

```
CREATE SEQUENCE <seq_name>
[INCREMENT BY n]                -- Default: 1
[START WITH n]                  -- Default: 1
[{MAXVALUE n | NOMAXVALUE}]     -- Maximalwert (10^27 bzw. -1)
[{MINVALUE n | NOMINVALUE}]     -- Mindestwert (1 bzw. -10^26)
[{CYCLE | NOCYCLE}]
[{CACHE n | NOCACHE}];         -- Vorcachen, Default: 20
```

- Zugreifen über NEXTVAL (nächster Wert) und CURRVAL (aktueller Wert):

```
CREATE SEQUENCE seq_pers;
INSERT INTO Person (p_id, p_name, p_alter)
VALUES (seq_pers.NEXTVAL, 'Ulf Mustermann', 28);
```

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Beispiel mit Trigger:

```
CREATE OR REPLACE TRIGGER pers_insert
BEFORE
INSERT ON Person
FOR EACH ROW
BEGIN
    SELECT seq_pers.NEXTVAL
    INTO new.p_id
    FROM dual;
END;

INSERT INTO Person (p_name, p_alter)
VALUES ('Ulf Mustermann', 28);
```

- Vorteil: Zuteilung der ID erfolgt transparent, d.h. kein expliziter Zugriff (über .NEXTVAL) in INSERT-Statement nötig!

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Allgemeines Schema der Trigger-Abarbeitung
 - Event e aktiviert während eines Statements S einer Transaktion eine Menge von Triggern $T = (T_1, \dots, T_k)$
 1. Füge alle neu aktivierten Trigger T_1, \dots, T_k in die **TriggerQueue** Q ein
 2. Unterbreche die Bearbeitung von S
 3. Berechne `new` und `old` bzw. `newtable` und `oldtable`
 4. Führe alle BEFORE-Trigger in T aus, deren Vorbedingung erfüllt ist
 5. Führe die Updates aus, die in S spezifiziert sind
 6. Führe die AFTER-Trigger in T aus wenn die Vorbedingung erfüllt ist
 7. Wenn ein Trigger neue Trigger aktiviert, springe zu Schritt 1

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Achtung:
Eine (nicht-terminierende) Kettenreaktion von Triggern ist grundsätzlich möglich
- Eine Menge von Triggern heißt **sicher (safe)**, wenn eine potentielle Kettenreaktion immer terminiert
 - Es gibt Bedingungen die hinreichend sind um Sicherheit zu garantieren (d.h. wenn sie erfüllt sind, ist die Trigger-Menge sicher, es gibt aber sichere Trigger-Mengen, die diese Bedingungen nicht erfüllen)
 - Typischerweise gibt es aber keine hinreichend und notwendigen Bedingungen, daher ist Sicherheit algorithmisch schwer zu testen.
- Eine Möglichkeit wäre wieder einen Abhängigkeits- (bzw. Aktivierungs-)graph
 - Knoten: Trigger
 - Kante von T_i nach T_j wenn die Ausführung von T_i T_j aktivieren kann
 - Keine Zyklen implizieren Sicherheit (Zyklen implizieren nicht notwendigerweise Unsicherheit)
 - ABER: ineffizient und nicht einfach zu realisieren (automatische Erkennung wann T_i T_j aktivieren kann?)

Prozedurale Constraints (Trigger)

- Trigger können auch noch für andere Aufgaben verwendet werden
 - Implementierung von Integritätsbedingungen und Erzeugung eindeutiger IDs (siehe dieses Kapitel)
 - Implementierung von Geschäftsprozessen (z.B. wenn eine Buchung ausgeführt wird, soll eine Bestätigungs-Email versandt werden)
 - Monitoring von Einfügungen/Updates (im Prinzip eine Kopplung der ersten beiden: wenn ein neuer Wert eingefügt wird, kann abhängig davon ein entsprechendes Ereignis ausgelöst werden)
 - Verwaltung temporär gespeicherter oder dauerhaft materialisierter Daten (z.B. materialisierte Views)