

DISS. ETH NO. 21964

# Storing and Processing Temporal Data in Main Memory Column Stores

A thesis submitted to attain the degree of  
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

MARTIN KAUFMANN

M.Sc. ETH in Computer Science, ETH Zurich  
Dipl.-Ing., University of Stuttgart, Germany

born on 20.07.1978

citizen of Germany

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Donald Kossmann, examiner  
Prof. Dr. Gustavo Alonso, co-examiner  
Prof. Dr. Christian S. Jensen, co-examiner  
Dr. Norman May, co-examiner

2014

# Abstract

Managing and accessing temporal data is of increasing importance for many applications in industry. Yet, even though there was a significant amount of research in academia during the 1990's, temporal features were only recently included into the SQL:2011 standard. Therefore, only a few temporal operators and with rather poor performance are currently implemented by commercial database systems.

As several important use cases are currently not covered adequately by database systems, many developers model the time dimension on the application layer, rather than pushing down the operators to the database. The implementation of temporal features on the application layer leads to considerable performance overhead.

The goal of this dissertation is to develop native support of temporal features for SAP HANA, a commercial in-memory column store database system.

As no standard benchmark for temporal databases is available, we propose a new benchmark (TPC-BiH) which allows us to evaluate the performance of both commercial database systems and our own implementations.

We investigate different alternatives to store temporal data physically in main memory and analyze the trade-offs arising from different memory layouts that cluster the data either by time or by space dimension.

Taking into account the underlying physical representation, different temporal operators such as temporal aggregation, timeslice and temporal join have to be executed efficiently. We present a novel data structure called *Timeline Index* and algorithms based on this index, which have very competitive performance for all temporal operators. These algorithms beat existing best-of-breed approaches for each operator – in some cases by several orders of magnitude.

While analysing the requirements with clients, it appeared that many applications include more than one time dimension. User-defined time domains, such as the validity of a contract or the availability of a product, are modeled as an application-time domain, whereas the period when a fact was visible in the database is represented by the system-time. For this reason we provide a bitemporal extension of the Timeline Index for bitemporal data.

The Timeline Index is currently being integrated into SAP HANA.

# Kurzfassung

Die Verwaltung und die Abfrage temporaler Daten ist für viele industrielle Anwendungen von zunehmender Wichtigkeit. Allerdings wurden temporale Funktionen trotz der umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten aus den 1990er Jahren erst vor kurzem in den SQL:2011 Standard übernommen. Aus diesem Grund sind temporale Operatoren noch nicht lange in kommerziellen Datenbanksystemen verfügbar und weisen zudem noch schlechte Performanz auf.

Da einige wichtige Anwendungsfälle derzeit nicht angemessen von den Datenbanksystemen unterstützt werden, modellieren viele Anwendungsentwickler die Zeitdimension auf Anwendungsebene, anstatt die Operatoren auf dem Datenbanksystem auszuführen, was zu deutlich erhöhten Kosten führt.

Das Ziel dieser Dissertation ist die Entwicklung einer nativen Auswertung temporaler Funktionen für das kommerzielle Datenbanksystem SAP HANA, welches auf Hauptspeicher und Spalten-orientierter Repräsentation der Daten basiert.

Da kein Standardbenchmark für temporale Datenbanken existiert, schlagen wir einen neuen Benchmark (TPC-BiH) vor, welcher uns ermöglicht, die Leistungsfähigkeit aktueller Datenbanksysteme sowie unserer eigenen Implementierungen zu bewerten.

Wir untersuchen verschiedene Alternativen, temporale Daten physisch im Hauptspeicher abzulegen und analysieren die Vor- und Nachteile, die aus der Anordnung der Daten entweder anhand der Zeit- oder der Raumdimension entstehen.

Unter Berücksichtigung der physikalischen Anordnung der Daten werden effiziente Algorithmen zur Ausführung temporaler Operatoren wie temporale Aggregation, Timeslice und temporaler Join benötigt. Dazu haben wir eine neuartige Datenstruktur entwickelt mit dem Namen *Timeline Index*. Algorithmen die auf diesem Index basieren haben sich als äußerst effizient erwiesen und übertreffen aktuelle Implementierungen teilweise um mehrere Größenordnungen.

Während der Analyse der Anforderungen in Zusammenarbeit mit Kunden von SAP stellte sich heraus, dass für viele Anwendungen mehr als eine Zeitdimension erforderlich ist. Benutzerdefinierte Zeitintervalle wie die Gültigkeit eines Vertrags oder die Verfügbarkeit eines Produkts werden als Anwendungszeit modelliert, während der Zeitraum in welchem eine Information in der Datenbank sichtbar war als Systemzeit repräsentiert wird. Wir stellen daher einen erweiterten Timeline Index vor, der bitemporale Daten unterstützt.

Der Timeline Index wird derzeit in SAP HANA integriert.