## Введение

Хранилища данных являются неотъемлемой частью многих клиентских приложений. Они обеспечивают структурированное хранение данных и возможность определения схем. Реляционные базы данных, такие как PostgreSQL, широко используются для этой цели.

Однако приложения могут изменяться со временем, что приводит к изменению структуры базы данных, которую они используют. Версионные миграции представляют практичный и распространенный подход к управлению структурами баз данных.

##### Что такое миграции?

Каждая миграция – это скрипт, который изменяет версию схемы данных. Обычно каждый скрипт соответствует определенной версии приложения, которое работает с этой базой данных и требует определенной структуры данных. Миграции позволяют управлять изменением структуры базы данных вместе с изменениями в приложении.

##### Риски связанные с миграциями

Хотя миграции представляют собой практичный и распространенный подход к управлению структурами баз данных, они также подвержены ошибкам. Некоторые из этих ошибок могут быть отслежены путем применения миграции на базе, которая не содержит никаких данных, кроме тех что были созданы при предыдущей миграции.

Однако существуют ошибки, связанные с изменением статического арбитража, которые невозможно проверить при отсутствии данных в таблицах. Статический арбитраж – это набор проверок и ограничений, применяемых к данным при их добавлении, модификации и удалении. Он включает в себя такие элементы, как вторичные ключи, типы колонок и их атрибуты. Эти ограничения могут гарантировать правильность данных и обеспечить их корректное использование.

Поэтому ошибки, связанные с изменением статического арбитража или некорректным представлением о консистентности уже существующих данных, могут быть наиболее сложными для отслеживания. При работе с версионными миграциями необходимо учитывать эти риски и тщательно проверять каждый скрипт для обеспечения сохранения целостности и достоверности данных.

## Постановка задачи

Для отслеживания ошибок, возникающих в процессе миграций баз данных, существуют различные подходы, например статический и динамический анализ скриптов миграции.

Статический анализ скриптов миграции заключается в том, что для поиска ошибок используется только SQL код скрипта. В данном случае не требуется наличие рабочей базы данных, на которой будут применяться данные скрипты. Однако, при статическом анализе доступны только сами скрипты, и весь процесс создания структуры базы данных должен быть проделан отдельно от самой базы. Это невероятно трудоемко, потому что придется полностью реализовывать логику работы базы данных, однако данный подход имеет и свои преимущества. Так, например, каждая миграция будет разбираться пошагово, и все изменения будут легко отследить.

Динамический анализ скриптов миграции, в свою очередь, требует наличия рабочей базы данных. При этом достаточно знать только версии скриптов миграции, без необходимости анализировать их содержимое. Таким образом динамический анализ избавляет от необходимости проделывать ту же работу по созданию схемы данных, которую делает сама база. Однако данный подход имеет свои недостатки: из-за того, что имеется всего два состояния базы данных – до и после миграции, локализация ошибок может быть затруднена.

Одной из основных причин ошибок применения миграции является неправильная манипуляция данными. Это может произойти, например, при добавлении ограничения NOT NULL для столбца таблицы, которая ранее не была проверена на наличие записей со значением NULL. Такая ситуация представляет собой простой пример возможных ошибок, которые могут возникнуть в процессе миграции. Если же мы говорим о более сложных изменениях в структуре базы данных, таких как добавление и разделение таблиц, то обнаружение ошибок будет намного сложнее, так как для проверки потребуются специфичные данные, которые будут находиться в базе до применения миграции.

Несмотря на то, что успешное применение миграций может показаться достаточным для обеспечения корректности и целостности данных, на деле это не всегда так. При работе с данными всегда существует определенный риск потери информации или ее неправильного изменения, но такие ошибки практически невозможно отследить без ручной проверки.

Помимо миграций "вверх", которые повышают версию базы данных, также существуют миграции "вниз", которые понижают версию. Требования к миграциям "вниз" те же, что и к миграциям "вверх". Они должны корректно изменять схему и гарантировать миграцию данных. Если миграции "вверх" и "вниз" для одной и той же версии структуры базы данных биективны относительно друг друга, то есть возможность проверять как корректность миграции схемы, так и корректность миграции данных.

Важно отметить, что не все ограничения явно описаны в самой структуре базы данных, некоторые из них обеспечиваются работой приложения, использующего базу данных. Например, добавление ограничения NOT NULL для столбца не обязательно вызовет ошибку на реальной базе.

Объединяя все вышесказанное, можно сформулировать требования для системы автоматического тестирования версионных миграций: система должна выявлять потенциальные проблемы в процессе применения миграций при помощи динамического анализа скриптов с использованием экземпляра базы данных.

## Метод решения

Для выявления ошибок миграции, связанных с некорректным изменением статического арбитража, необходимо наличие данных в базе на момент миграции. Однако возникает проблема генерации таких данных при отсутствии реверс-инжиниринга базы данных. Решением может быть генерация данных исходя из описания таблиц, колонок и связей, но данный способ имеет свои сложности.

Например, в случае динамического арбитража, который часто реализуется при помощи триггеров и генерируемых колонок, необходимо проверить всю логику работы триггера, который может содержать в себе практически любые SQL команды. Следовательно, чтобы проверить условия для добавления данных нужно полностью повторить логику работы базы данных. Следует заметить, что динамический арбитраж - это только один из ярких примеров. Статический арбитраж так же может усложнить процесс генерации корректных данных, требуя наличия специфических ограничений, например если таблицы циклически связаны индексами.

Таким образом генерация и последующая вставка данных является задачей нетривиальной из за множества факторов, связанных с внутренней логикой работы самой базы данных. Так же сгенерированные данные могут быть неконсистентными по сравнению с теми данными, которые на самом деле будут находиться в базе в следствие работы приложения, и в этом случае проблема намного глубже. Так что вместо генерации данных будет намного более предпочтительным вариантом, если для тестирования миграций будут использоваться отдельные скрипты, которые будут заполнять базу в соответствии с её текущей структурой. Этот метод является более эффективным, потому что изначально в базу не будут добавлены данные, которые не предусмотрены логикой работы приложения. Более того, имея доступ к базе данных до и после миграции можно использовать внутренние служебные таблицы PostgreSQL для обнаружения неиспользуемых связей и неполноты охвата множества возможных значений для отдельных колонок.

## Подсчет общего количества данных в связанных таблицах

Если все возможные связи таблиц будут иметь записи, то количество общих записей составит примерно O(n^2), где n является количеством связанных таблиц.

Кроме того, каждая из возможных связей таблиц должна содержать особые подмножества значений для отдельных колонок. Например, для колонки без ограничения NOT NULL должна быть предусмотрена запись с NULL значением. Также для REAL-колонки значения должны включать +INFINITY, -INFINITY, NaN.

Таким образом общее количество данных с учетом возможных значений отдельных колонок будет составлять , где m — количество колонок в таблице, а k — количество определенных контрольных значений из множества значений конкретной колонки. На практике k является константной, потенциально небольшой.

## Проверка заполненности базы

В PostgreSQL служебные таблицы предоставляют различную информацию о базе данных, такую как информация о таблицах, индексах, связях таблиц, типах колонок и других статических ограничениях.

Имея доступ к этой информации и к данным, находящимся в проверяемых таблицах, можно простым обходом всех записей проверять существование всех возможных связей между таблицами, а также проверить возможные значения отдельных колонок на наличие уникальных и краевых значений.

Основываясь на результатах анализа данных текущей структуры таблиц и связей, можно сгенерировать отчет об охвате возможных комбинаций связей данных и их значений. Результат анализа можно использовать для добавления новых данных и увеличения охвата возможных ситуаций изменения этих данных.

Владимир Николаевич, на этом абзаце у меня появились сомнения что выбранная тема достойна быть темой для диплома, ведь получившееся приложение способно всего лишь проверять существующие связи и генерировать отчет по типу «У вас в таблице users отсутствует ограничение NOT NULL для колонки user\_name и также отсутствует NULL значение на момент миграции». Вся остальная логика работы приложения — это просто последовательный запуск SQL скриптов.