

УДК 004.4

**ПОДХОДЫ К БЕСКОНФЛИКТНОЙ РЕПЛИКАЦИИ КОМПОЗИТНЫХ ОБЪЕКТОВ В
КОЛЛАБОРАТИВНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ**

Иванов Н.Д. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – Семенов Г.В. (Университет ИТМО)

Введение. Коллаборация определяется как совместная деятельность нескольких участников по достижению общей цели посредством координированных действий. К примерам коллаборативных приложений относятся онлайн-редакторы, интерактивные доски и многопользовательские игровые приложения. Основным требуемым свойством коллаборативной работы выступает ее сходимость к единому согласованному результирующему состоянию, что выражается в равенстве наблюдаемых участниками версий данных. В отличие от синхронной коллаборации, где состояние в процессе работы поддерживается общим у всех участников, при асинхронной коллаборации допускаются изолированные обновления данных, которые могут приводить к нарушению согласованности состояния. В то же время, поддержка асинхронного режима представляет актуальность в силу необходимости поддержки работы при сетевых сбоях или над изолированными ревизиями.

Известным подходом к имплементации слияния асинхронно измененных данных выступают бесконфликтно реплицируемые структуры данных (CRDT) [1], которые обеспечивают строгую конечную согласованность (SEC): регистры, счетчики, контейнеры в частности, множества и текстовые типы данных. При всем многообразии типов и изученности их композируемости [2], моделирование объектно-ориентированных сущностей с помощью CRDT затруднительно, поскольку интерпретация обновлений и семантика возникающих в ходе них конфликтов не определена.

В работе рассматриваются подходы к бесконфликтной синхронизации композитных объектов – упрощенных логических структур со слабой ссылочной целостностью, поля которой принимают значения литералов (значения примитивных типов или ссылки на другие объекты) либо выступают коллекциями литералов – множествами или словарями.

Основная часть. Рассматривается распределённая система с реплицируемым композитным объектом. Состояние объекта определяется как результат интерпретации истории операций, применённых к нему. Пользователи взаимодействуют с объектом посредством порождения операций модификации состояния, которые распространяются между репликами в произвольном порядке. Модель конфликта задаёт критерий, по которому определяется, какие пары конкурентных операций считаются конфликтующими, а также способ их реконсиляции – процедуру согласования параллельных обновлений.

В первой модели конфликта принимается наименее гранулярная интерпретация асинхронных обновлений: любые две конкурентные операции над композитным объектом трактуются как конфликтующие. Реконсиляция осуществляется в ручном режиме посредством версионирования – система сохраняет полученные версии состояния объекта и предоставляет их пользователю для выбора. Структурно объект представляется как единый MV-регистр, а конкурентность операций определяется с использованием общих для объекта векторных часов [3], инкрементируемых при каждом асинхронном обновлении. Данный подход отличается концептуальной простотой и универсальностью. Вместе с тем он чрезмерно чувствителен к конкуренции: даже изменения, допускающие автоматическое согласование, требуют участия пользователя.

Во второй модели уровень гранулярности повышается: конфликт фиксируется лишь при конкурентных операциях над одним и тем же полем объекта. Соответственно, реконсилияция выполняется независимо для каждого поля. Объект при этом естественно описывается как композиция CRDT, соотносимых с его полями; каждому полю сопоставляется тип со своей семантикой слияния и механизмом отслеживания причинности. Так, примитивные значения могут быть представлены LWW-регистром, множества — OR-Set, словари — LWW-Map. Сходимость обеспечивается замкнутостью композиции полурешеток относительно операции объединения [3]. Преимуществом данного подхода является автоматическая реконсилияция конфликтов без участия пользователя. В то же время независимая обработка полей не позволяет выявлять конфликты между семантически связанными полями, что затрудняет поддержание внутренних инвариантов объекта (например, условие на то, что время начала события в календаре не может быть больше времени его конца).

Третья модель развивает предыдущий подход, вводя учет семантических связей между полями. Конфликт фиксируется не только при конкурентных операциях над одним и тем же полем, но и при обновлениях семантически связанных полей композитного объекта. Для формализации такого поведения вводится предикат на множестве операций, который по их паре определяет наличие конфликта. Объект по-прежнему задается как композиция CRDT-структур, а механизм причинности централизуется: используется единый векторный счётчик для всего объекта. При срабатывании предиката дальнейшая реконсилияция передается прикладной логике, тогда как независимые изменения продолжают согласовываться автоматически. Достоинство данной схемы заключается в более точном различении конфликтующих и согласуемых изменений, что позволяет лучше учитывать пользовательские намерения. Ее применение, однако, требует явной формализации предиката по операциям и реализации дополнительной логики обработки ситуаций, не сводимых к автоматическому слиянию.

Выводы. В работе рассмотрен ряд подходов к представлению композитного объекта на основе CRDT, в зависимости от выбираемой модели конфликта. Показано, что по мере усложнения модели конфликта возможно более точно различать конкурентные изменения, являющиеся конфликтующими с точки зрения пользовательских намерений, и изменения, которые могут быть автоматически согласованы. В настоящий момент ведется разработка календарного приложения на основе 2-го подхода.

Список использованных источников:

1. Shapiro M. A comprehensive study of convergent and commutative replicated data types. – 2011.
2. Baquero C. et al. Composition in state-based replicated data types //Bulletin of EATCS. – 2017. – Т. 3. – №. 123.
3. Fidge, C. J. (1987). Timestamps in message-passing systems that preserve the partial ordering.