

# Исследование протоколов когерентности памяти для систем хранения данных

А.А. Кошпаев, Е.С. Васяева

Поволжский государственный технологический университет

В системе хранения данных (СХД) каждый узел имеет симметричный доступ к подсистеме внешней памяти через коммутационную матрицу, которая реализуется посредством стандартов iSCSI, Fibre Channel или PCI Express. После открытия ресурса, узел считывает данные в собственный локальный кэш. Когда ресурс одновременно открыт несколькими узлами в режиме записи, должна быть, безусловно, обеспечена когерентность данных кэша.

В общем случае для поддержания когерентности аппаратными способами в системах с разделяемой памятью применяются следующие подходы: разделяемая кэш-память; некешируемые данные; широковещательная запись; протоколы наблюдения; протоколы на основе справочника. Из рассмотренных методов наиболее часто используемыми являются протоколы наблюдения и протоколы на основе справочника. Оба эти метода рассматривались в данной работе с позиции эффективности использования в СХД.

Отличительной чертой СХД является высокая масштабируемость. Из протоколов когерентности лучше всего масштабируются к большому количеству ядер протоколы на основе справочника из-за целенаправленной передачи сообщений. Чтобы избежать задержки доступа к внешней памяти предпочтителен способ размещения справочника в кэш-памяти.

Справочник в кэш-памяти содержит полное подмножество набора записей справочника. Таким образом, ключевая проблема - обработка неудачных обращений в кэш-память справочника. Существует несколько способов обработки неудачных обращений [1]: 1) хранить в справочнике только состояния блоков, которые кешируются на микросхеме; 2) хранить полный справочник во внешней памяти и 3) отказаться от использования кэш-памяти справочника, при этом контроллер справочника перенаправляет запрос ко всем контроллерам когерентности.

Учитывая, что в СХД большая частота запросов, необходимо, чтобы соединительная сеть обладала большой пропускной способностью, а запросы были целенаправленными. При отказе от использования кэш-памяти требуется широковещательная передача, что снижает пропускную способность канала. Первые два метода обладают высокой производительностью, но первый метод требует наличия наборно-ассоциативной кэш-памяти с большим числом каналов, а второй – большого объема внешней памяти. В СХД передаются, обрабатываются и хранятся большие объемы данных, из чего следует необходимость использования большого объема внешней памяти, что, однако, не является критичным параметром и не окажет большого влияния на затраты реализации, по сравнению с первым методом.

Обращая внимание на большой объем хранимых данных и большое количество ядер, было бы нецелесообразно использовать справочник, который поддерживает подробное состояние для каждого блока, включая полный набор ядер, которые совместно используют копии блока данных. Существует два основных способа уменьшения структуры справочника: укрупненные справочники, где каждый бит в списке совладельцев отображает несколько кэшей, и ограниченные справочники, где может отображаться только часть кэшей. Ограниченные справочники привлекательны тем, что они эффективно используют пропускную способность канала, при этом не используя большого количества памяти.

Таким образом, оптимальным вариантом для крупномасштабных СХД является протокол когерентности на основе справочника, использующий в качестве способа представления структуры справочника – ограниченные справочники; справочник расположить в кэш-памяти, а при промахе обращаться к полному справочнику, расположенному во внешней памяти.

## Литература

1. D.J. Sorin, M.D. Hill, D.A. Wood. A Primer on Memory Consistency and Cache Coherence. Morgan&Claypool Publishers, 2011.