

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

УДК 004.415.2

ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ ДЛЯ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО
КОМПЛЕКСА SPD ONLINE FILTER

Студент _____ П. А. Коршунова

Научный руководитель _____ Е. Ю. Солдатов

Научный консультант _____ Д. А. Олейник

Москва 2023

Содержание

Введение	3
1 Эксперимент SPD	4
2 Организация SPD Online Filter	5
2.1 Требование к SPD Online Filter	6
2.2 Архитектура SPD Online Filter	6
3 Организация данных	7
3.1 Исходные данные	7
3.2 Промежуточные и выходные данные	8
3.3 Поток данных в системе SPD Online Filter	9
4 Система управления данными	10
4.1 Требования к системе	10
4.2 Архитектура	11
Заключение	13
Список используемых источников	14

Введение

Одной из неразрешенных проблем современной физики высоких энергий является «спиновый кризис», который заключается в том, что мы не знаем как спины нуклонов распределены между их составляющими (кварками и глюонами).

Данный кризис был вызван экспериментом EMC [1], в котором пытались определить распределение спина внутри протона. Ожидалось, что весь спин протона несут валентные кварки, однако оказалось, что это не так.

Изучение спиновой структуры нуклона имеет большое значение, так как он отвечает за фундаментальные свойства природы. Но наши знания о его внутренней структуре все еще ограничены, особенно в отношении вклада глюонов. Именно поэтому строится новая установка SPD (являющаяся часть ускорительного комплекса NICA) для всестороннего изучения глюонного состава нуклона [2].

Здесь возникает проблема, связанная с тем, что в результате столкновения пучков на коллайдере образуется большой поток данных с детектора, который надо как-то обрабатывать и хранить. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированной вычислительной системы, которая будет отфильтровывать «скучные» события и подготавливать данные для долговременного хранения.

Именно такой системой является вычислительный комплекс SPD Online Filter, который был рассмотрен в данной работе.

1 Эксперимент SPD

На базе Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) строится новый ускорительный комплекс NICA (рис. 1), направленный на изучение свойств сильного взаимодействия [2].



Рисунок 1 – Схема ускорительного комплекса NICA [3].

В первой точке взаимодействия коллайдера будет размещен детектор MPD (MultiPurpose Detector), на котором будет проведено исследование плотной барионной материи. Во второй точке взаимодействия будет установлен детектор SPD (Spin Physics Detector) (рис. 2), который будет использоваться для изучения спиновой структуры протона и дейтрона и других связанных со спином явлений с помощью поляризованных пучков протонов и дейтронов при энергии столкновения до 27 ГэВ.

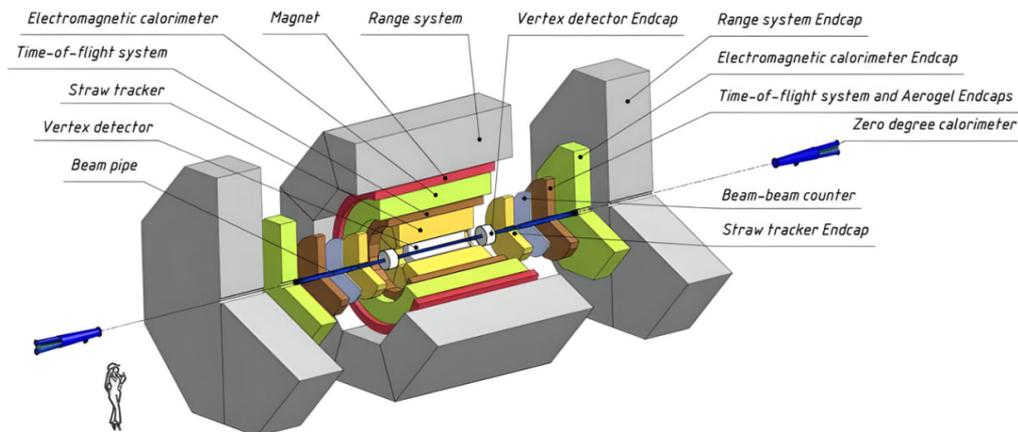


Рисунок 2 – Экспериментальная установка SPD [4].

Основная цель эксперимента SPD — всестороннее изучение неполяризованной и поляризованной глюонной составляющей нуклона.

Глюоны являются фундаментальными составляющими нуклона и играют ключевую роль в формировании его массы и спина, а также несут около половины его импульса.

Распределение поляризованных глюонов в протоне и дейтроне будет исследоваться с помощью трех каналов: инклюзивного рождения чармониев (например, J/ψ), частиц с открытым очарованием (например, D -мезонов) и быстрых фотонов [5].

Сам детектор SPD задуман как универсальный 4π -спектрометр, основанный на современных технологиях.

С помощью детектора происходит регистрация «событий» (событием мы называем взаимодействие частиц между собой). Все они независимы и могут обрабатываться по отдельности. На первичном этапе событие представляет собой набор сигналов от чувствительных элементов детектора (сенсоров), передаваемых по каналам считывания сигналов. Количество таких сигналов считывания у эксперимента SPD ~ 500000 .

Если мы ожидаем, что интересующие нас события будут возникать с частотой 3 МГц, то суммарный поток данных с детектора можно оценить как 200 ПБ/год. Сбор, обработка и хранение такого объема данных представляет собой серьезную проблему для вычислительной инфраструктуры эксперимента. Так как классический подход с использованием триггерной системы, благодаря которой мы можем отбирать интересующие нас события, не представляется возможным ввиду сложности и широты изучаемых процессов, то требуется разработать новые методы и подходы для подготовки и обработки экспериментальных данных. Для решения данной задачи ведется разработка специализированной вычислительной системы SPD Online Filter [6].

2 Организация SPD Online Filter

SPD Online Filter — это высокопроизводительная вычислительная система для высокопропускной обработки данных. Основной целью данной

системы является быстрая реконструкция событий и сокращение объема данных для долговременного хранения.

В качестве входных данных система получает файлы «сырых» данных в формате, определяемом электроникой и системой DAQ (Data Acquisition System). Результатом обработки данных является набор реконструированных событий, содержащий также исходную информацию.

2.1 Требование к SPD Online Filter

Данная вычислительная система должна выполнять следующие задачи:

- раскодирование данных, полученных от DAQ;
- выделение событий;
- фильтрация «скучных» событий в соответствии с заданными физическими критериями;
- упорядочивание выходных данных, объединение событий в файлы, а файлы в наборы данных для дальнейшей обработки;
- подготовка данных для системы контроля качества данных.

2.2 Архитектура SPD Online Filter

Для выполнения данных задач предполагается следующая архитектура системы (рис. 3):

- высокоскоростное хранилище входных данных, полученных с помощью системы сбора данных (DAQ);
- буфер для промежуточных данных и данных, подготовленных к передаче в долгосрочное хранилище и будущей обработке;
- комплекс промежуточного программного обеспечения для автоматизации рабочего процесса, в который будут входить следующие компоненты:

- Система управления данными (регистрация новых данных, каталогизация/структуризация, контроль целостности);
 - Система управления процессами обработки (формирование и контроль исполнения этапов обработки данных);
 - Система управления нагрузкой (реализация этапов обработки, посредством формирования и выполнения необходимого количества задач для обработки набора данных);
- * *Pilot* (агентское приложение, работающее на вычислительном узле и исполняющее задачи, поставляемые от системы управления нагрузкой).

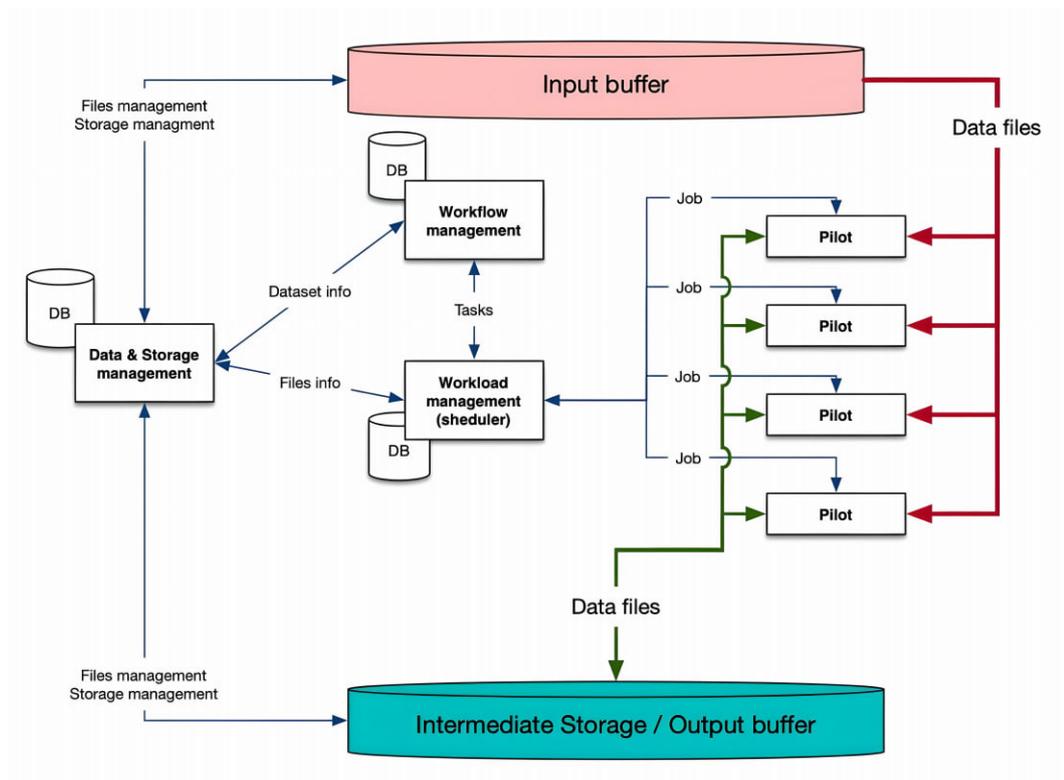


Рисунок 3 – Архитектура SPD Online Filter.

3 Организация данных

3.1 Исходные данные

Входные данные приходят из DAQ во входной буфер. Система сбора данных группирует данные с сенсоров следующим образом (рис. 4):

1. *Период набора* — ассоциирован с физической задачей. Состоит из набора ранов (run). Измеряется неделями. Имеет дату начала, дату окончания;
2. *Ран* — интервал, когда условия эксперимента неизменны (например, калибровки). Измеряется часами. Состоит из фреймов;
3. *Фрейм* — нумерованный блок данных с сенсоров. Продолжительность — секунды. По объему делится на файлы;
4. *Файл* — количество данных для обработки одной задачей. Каждый из файлов содержит данные за достаточно длительный период и будет содержать информацию о множестве событий.

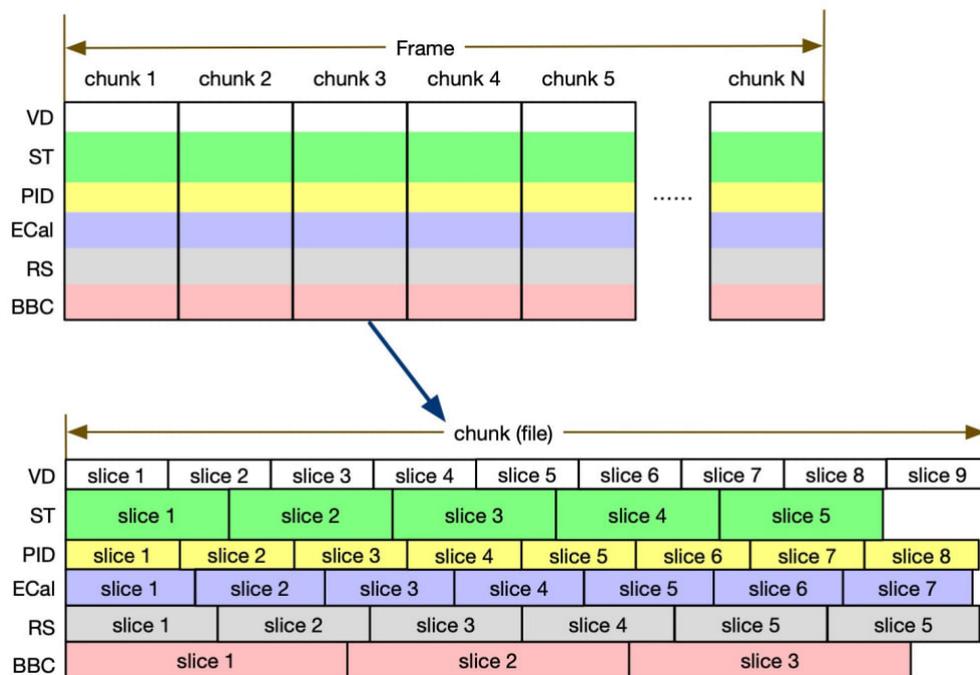


Рисунок 4 – Организация входных данных с DAQ [6].

3.2 Промежуточные и выходные данные

Промежуточные данные — это данные, образующиеся в процессе обработки, но еще не находящиеся в состоянии готовности для использования в системах оффлайн обработки. В их организацию входит:

- привязка к фрейму;
- привязка к набору для последующего шага в процессе обработки.

Промежуточные данные живут только в рамках системы, не подразумевается их долговременное хранение, соответственно они должны регулярно удаляться.

Выходные данные — данные для последующей обработки или использования вне функционала онлайн фильтра. К их организации относятся:

- привязка к периоду набора и рану;
- логическая группировка в наборы, с учетом того, что один и тот же файл может быть в разных группах (минимум в одной).

3.3 Поток данных в системе SPD Online Filter

К потоку данных относится то, как они циркулируют в системе. Рассмотрим основной поток данных (рис. 5).

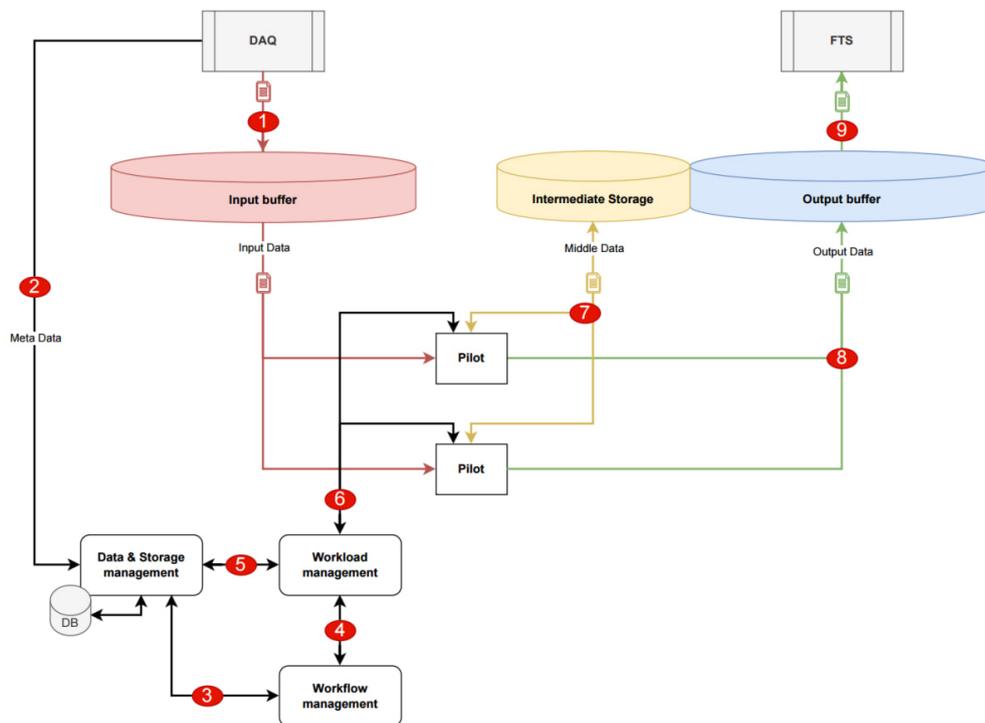


Рисунок 5 – Поток данных в SPD Online Filter.

1-2) DAQ загружает набор однородных файлов на входной буфер, и информация о записанном наборе поступает в систему управления данными для первичной регистрации.

3-4) Система управления процессом обработки запрашивает данные о каком либо наборе данных без детальной информации о каждом файле. После чего эта информация поступает в систему управления нагрузкой в составе описания задания (task).

5) Система управления нагрузкой запрашивает информацию о составе набора (о конкретных файлах входящих в набор). Формирует задачи (jobs).

6-7-8) Пилоты вместе с описанием задач получают ссылки на входные файлы и имена выходных файлов. Пилоты записывают выходные файлы в хранилище и информируют систему управления нагрузкой.

5) Система управления нагрузкой регистрирует выходные файлы в выходном наборе и по окончании обработки входного набора закрывает выходной набор.

3) Система управления процессом контролирует, какие промежуточные наборы нужно удалить, а какие передать для долговременного хранения.

9) FTS (File Transfer System) по итогу всего рабочего процесса забирает выходные данные с выходного буфера.

4 Система управления данными

Так как в процессе обработки данных образуется большой объем вторичных данных, то нам необходима специальная система для управления этими данными. Такой системой является система управления данными.

4.1 Требования к системе

Система должна обеспечивать контроль над хранением, организацией, а также целостностью данных.

Для того чтобы система могла узнать о существовании файла в хранилище, необходим интерфейс для регистрации файлов, который включает в себя получение информации о местоположении файла (имя, физический

путь, метаданные) и внесение его в каталог со ссылкой на требуемый набор данных.

Из функциональности выше следует то, что информация о файлах и наборах должна храниться в каталоге. Это означает наличие интерфейса к каталогу данных, через который можно размещать информацию о файлах, запрашивать информацию из каталога, удалять информацию в каталоге.

Так как каждый шаг обработки данных оперирует не самим файлом, а набором из них, то система управления данными должна предоставлять возможность управления наборами (dataset-ми). Сюда входят следующие функции: создать dataset, добавить файл в dataset, закрыть dataset, удалить dataset, дать информацию о содержимом dataset (файлах в датасете).

Также для корректного функционирования всей системы требуется иметь фоновые сервисы, которые бы осуществляли удаление файлов в хранилищах, проверку целостности файлов и общий контроль использования хранилища.

4.2 Архитектура

Концептуальная архитектура системы управления данными с учетом требуемой функциональности представлена на рисунке 6.

В первую очередь система была декомпозирована на набор сервисов. Причём в качестве стратегии разбиения был выбран шаблон «разбиение по поддоменам», который основан на концепциях предметно-ориентированного проектирования (Domain-Driven Design, DDD).

Согласно данной концепции вся модель предметной области (домен) разбивается на поддомены. У каждого поддомена своя модель данных, область действия которой принято называть ограниченным контекстом. Каждый микросервис разрабатывается внутри этого ограниченного контекста. Основная задача при использовании данного подхода — подобрать поддомены и границы между ними так, чтобы они были максимально независимы друг от друга.

Помимо декомпозиции также были определены принципы межсервисного взаимодействия [7]. В тех случаях, где требуется мгновенный ответ

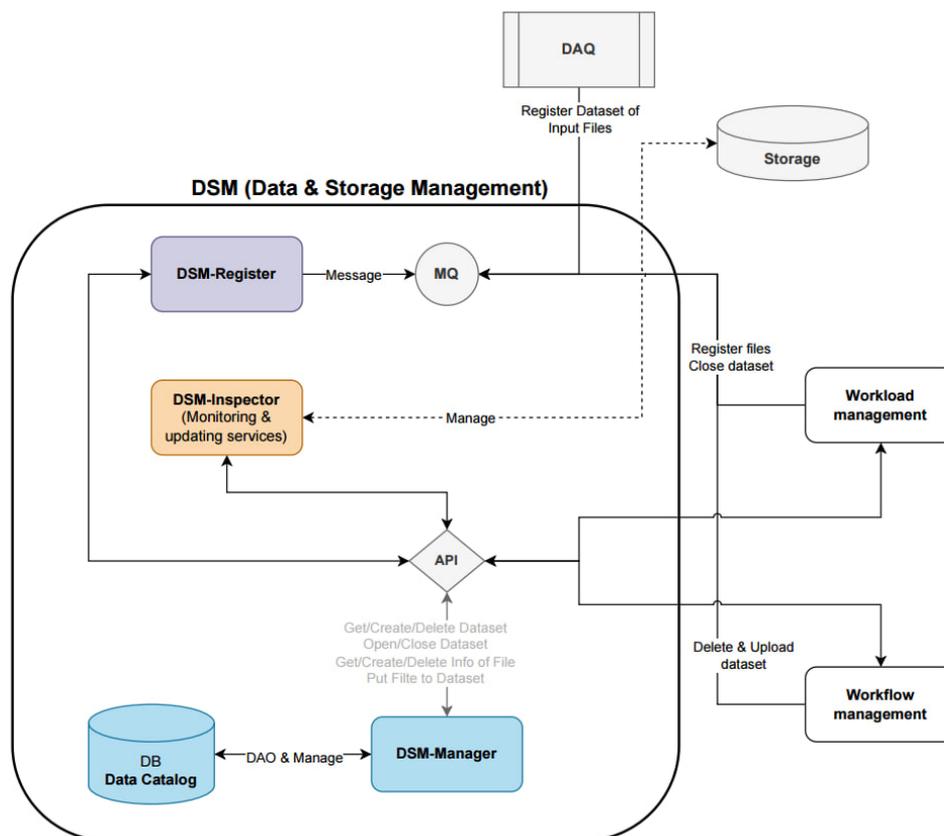


Рисунок 6 – Концептуальная архитектура системы управления данными.

от сервиса, используется HTTP протокол обмена данными. Для остальных случаев был выбран AMQP протокол для асинхронной передачи данных в виде сообщений. Таким образом, были выделены следующие сервисы:

- **dsm-register**. Сервис, принимающий в асинхронном режиме (через очередь сообщений) заявки на добавление/удаление данных в системе. При обработке заявок сервис вносит изменения в каталог данных через API сервиса dsm-manager;
- **dsm-manager**. Сервис, предоставляющий REST API к каталогу данных (размещение данных в каталоге, обращение к каталогу, изменение данных в каталоге). Он нужен как для внутреннего функционирования системы, так и для внешнего взаимодействия;
- **dsm-inspector**. Набор фоновых сервисов для мониторинга и контроля состояния данных в хранилище (проверка целостности файлов, контроль использования хранилища, удаление файлов на хранилищах).

Заключение

При проведении экспериментов на коллайдере чрезвычайно важно решить проблему обработки и хранения огромного объема данных, получаемого в результате столкновений.

В связи с этим в контексте данной работы рассмотрен вычислительный комплекс SPD Online Filter, который предназначен для быстрой реконструкции событий и сокращения объема выходных данных без потери их физической ценности. Это является важным шагом в обеспечении эффективной обработки и анализа экспериментальных данных. И, как следствие, является ключом к пониманию спиновой структуры нуклона.

Также в работе была рассмотрена одна из составляющих системы SPD Online Filter — система управления данными.

В дальнейшем планируется закончить реализацию микросервисов системы управления данными, а также доработать взаимодействие данной системы с системами управления процессами и нагрузкой.

Список используемых источников

1. *Ashman J.* [и др.]. A Measurement of the Spin Asymmetry and Determination of the Structure Function $g(1)$ in Deep Inelastic Muon-Proton Scattering // Phys. Lett. B / под ред. V. W. Hughes, C. Cavata. — 1988. — Т. 206. — С. 364.
2. *Abazov V. M.* [и др.]. Conceptual design of the Spin Physics Detector. — 2021. — Янв. — arXiv: [2102.00442](https://arxiv.org/abs/2102.00442) [hep-ex].
3. Комплекс NICA. — URL: <https://nica.jinr.ru/ru/complex.php>.
4. Экспериментальная установка SPD. — URL: <https://nica.jinr.ru/ru/projects/spd.php>.
5. *Arbuzov A.* [и др.]. On the physics potential to study the gluon content of proton and deuteron at NICA SPD // Prog. Part. Nucl. Phys. — 2021. — Т. 119. — С. 103858. — arXiv: [2011.15005](https://arxiv.org/abs/2011.15005) [hep-ex].
6. *Oleynik D.* Data processing in HEP experiments. — URL: https://lit.jinr.ru/sites/lit.jinr.ru/files/pdf/HEPNICA_computing_2022_OleynikD.pdf.
7. *Tereshenko D.* Designing a Data Management Service in a Specialized Distributed Computing System SPD Online Filter. — 2023.