

Кравченко В.В., Самойлова Т.А.

Смоленский государственный университет, г. Смоленск, Россия

РАЗРАБОТКА ВЕБ-СЕРВИСА ВИДЕОАНАЛИЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СИСТЕМ БАЗ ДАННЫХ

АННОТАЦИЯ

В статье обоснована целесообразность использования параллельных систем баз данных для веб-ориентированной аналитической обработки видеоконтента. Приведено описание средств, которые поддерживают подобные вычисления в режиме реального времени. Для повышения эффективности обработки предлагается подход, основанный на принципе симметричного горизонтального распределения. Приведено описание архитектуры и функциональные возможности проектируемого веб-сервиса для решения задач видеоанализа. Приведены примеры параллельного выполнения реляционных SQL-операций в задачах распознавания и поиска. Приведены результаты работы программного модуля для обнаружения движущихся объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Веб-сервис; конвергентное решение; машинное зрение; принцип симметричного горизонтального распределения; параллельная система баз данных; режим реального времени; MVC-шаблон; WebAPI; AForge.NET; Accord.NET.

Kravchenkov V.V., Samoylova T.A.

Smolensk State University, Smolensk, Russia

DEVELOPMENT OF WEB SERVICE VIDEO ANALYSIS USING PARALLEL DATABASE SYSTEM

ABSTRACT

In the article proves the feasibility of using parallel database systems for Web-based analytical processing video. The description of resources that support these calculations in real time. To improve the processing efficiency of an approach based on the principle of symmetrical horizontal distribution. The description of the architecture and functionality of the designed web service solutions for video analysis tasks. Examples of parallel execution of the SQL relational-operation in the identification and search problems. The results of the work program module for the detection of moving objects.

KEYWORDS

Web service; a converged solution; machine vision; the principle of horizontal distribution symmetrical; parallel database system; real-time mode; the MVC-pattern; WebAPI; AForge.NET; Accord.NET.

В настоящий момент заметная тенденция в сфере видеоаналитики – ее ориентация на веб-технологии, позволяющие организовать доступные сервисы для интеллектуального наблюдения [12] за объектами через Интернет. Веб-ориентированная видеоаналитика базируется на централизованной обработке видеоконтента на сервере, который анализирует видеопотоки от всех камер. Преимущество такого подхода заключается в возможности комбинирования алгоритмов машинного зрения (видеоаналитики) на одной аппаратной платформе, а также использование недорогих видеокамер, в случае потери которых основные вложения в сервер и алгоритмы видеоанализа сохраняются. Эти сервисы можно использовать в системах видеонаблюдения для потребителей разных типов:

- в госсекторе – "безопасный город", "безопасный транспорт";
- в крупном бизнесе – строительство, логистика, нефтегазовая отрасль (автоматический контроль обстановки на объектах месторождения и своевременное информирование службы безопасности о нестандартных ситуациях);
- в торговых сетях и финансовой сфере – управление продажами;
- в частном секторе – присмотр за домом.

Далее перечислены существенные, на наш взгляд, задачи видеоанализа, решаемые средствами веб-технологий (серверная аналитика):

1. Распознавание, когда требуется доступ к базе данных эталонных объектов, что сегодня реализуемо только на серверной стороне.

2. Поиск в видеоархиве для выделения объектов и событий, соответствующих заданным критериям (тип объекта, тип движения).

3. Обработка данных, получаемых одновременно с нескольких камер для отслеживания перемещений отдельных объектов на большой площади или для более полной оценки обстановки.

4. Прогнозирование ситуаций или поведения за счет статистики, накопленной в базе сервера, и применение статистических алгоритмов и алгоритмов машинного обучения, которые позволяют выявить закономерности в поведении наблюдаемых объектов и сделать количественные оценки.

5. Объединение с помощью единой коммуникационной платформы веб-видеоаналитики с системами, уже установленными на предприятии в централизованную систему с удаленным доступом к информации. Такое конвергентное решение повышает безопасность и производительность системы, где видеонаблюдение используется для сбора и анализа данных, необходимых для управления, например, в нефтегазовой отрасли.

Одна из главных проблем веб-ориентированной видеоаналитики – необходимость обработки больших массивов видеоданных, которая включает вычисления, позволяющие охарактеризовать объекты наблюдения в реальном времени. Такая обработка может быть необходима одновременно большому числу потребителей информации, которые будут обращаться к сервису с запросами, затрагивающими огромные объемы видеоданных. Технологии, поддерживающие подобные аналитические вычисления в режиме реального времени (real-time analytics) [7]:

- обработка в памяти (processing in memory) – соответствует архитектуре чипа, в котором процессор интегрирован в микросхему памяти для уменьшения времени ожидания;
- аналитика в базе данных – технология, которая позволяет обрабатывать данные непосредственно на сервере баз данных путем встраивания специального компонента анализа (R-Service для MS SQL Server);
- аналитика в хранилищах данных – сочетание аппаратных и программных компонент хранилищ, разработанных специально для аналитической обработки, например, машины баз данных IBM Netezza и Oracle ExaData;
- запросы в памяти (in-memory analytics) – подход к организации запросов к данным, когда результаты запросов находятся в оперативной памяти (RAM), в отличие от запросов к данным, которые хранятся на физических дисках;
- массовая параллельная система (MPP) обработки данных – данные базы разбиваются на независимые фрагменты, которые хранятся на независимых массовых запоминающих устройствах (mass storage) и обрабатываются независимыми процессорами.

Однако возможностей этих технологий бывает недостаточно, когда решение задач интеллектуального анализа видеоконтента выполняется для баз данных размером несколько миллионов экземпляров объектов и более. К этим задачам следует отнести:

- классификацию объектов и событий заданных классов, распознавание образов и ситуаций путем сравнения их с эталонными изображениями базы данных;
- поиск объектов в базе данных видеоархива по заданному ситуационному критерию (движение в зоне; вход объекта в зону; выход объекта из зоны; переход объекта из одной зоны в другую; оставленный в зоне предмет);
- прогнозирование – вероятностный статистический анализ базы данных, содержащей статистическую информацию, например, частоту аварий, который строит дерево событий и позволяет моделировать развитие аварийных ситуаций (взрывы, пожары, прорыв плотины, взрыв газа и т.п.).

Прикладные программы решения данных задач, как правило, являются комбинациями обычных программ и операторов SQL, поддерживающих реляционную модель данных, известную своим параллелизмом. С учетом этого, в настоящей работе предлагается использовать параллельные системы баз данных [3], основанные на принципе симметричного горизонтального распределения [9] участвующих в работе SQL-оператора таблиц, что повысит уровень производительности задач интеллектуального анализа видеоконтента. Поскольку данные видеоконтента легко разбиваются на части, соответствующие временным интервалам их поступления, то их можно разделять между несколькими процессорами и памятью. Это даст возможность разбить одну SQL-операцию на несколько независимых параллельных реляционных

операций, каждая из которых работает с частью видеоконтента на отдельном процессоре или диске. Результаты работы параллельных операций посылаются в общий узел, где происходит их слияние (Рис. 1).



Рис. 1. Раздельный параллелизм обработки видеоконтента

Реляционные операции, определяемые соответствующими SQL-запросами, принимают отношения (однородные наборы записей) в качестве ввода и производят отношения на выходе. Это позволяет составлять из них графы потоков данных, что делает возможным раздельный параллелизм, при котором операции дублируются для каждого источника данных и дубли выполняются параллельно. При таком потоковом подходе к организации систем баз данных необходима операционная система типа клиент-сервер, основанная на передаче сообщений для взаимосвязи параллельных процессов, в которых и выполняются реляционные операции. Для этого, в свою очередь, требуется высокоскоростная сеть, обеспечивающая взаимосвязь параллельных процессоров. Такие средства имеют место в современной компьютерной архитектуре. В парадигме "клиент-сервер" высокоскоростные локальные сети (LAN) рассматриваются как основа для большей части персональных компьютеров, рабочих станций и программного обеспечения рабочих групп. В то же время механизмы "клиент-сервер" являются превосходным базисом для разработки распределенных баз данных. Таким образом, параллельные архитектуры системы баз данных для обработки видеоконтента будут строиться на обычных процессорах, памяти и дисках.

Далее приведен пример распараллеливания SQL-операции JOIN, необходимой для реализации модуля распознавания лиц и обладающей значительной вычислительной сложностью. Модуль работает на основании алгоритма "собственных лиц". Идея алгоритма, созданного в Media Laboratory Массачусетского технологического института [6], заключается в следующем. Система формирует большую таблицу данных известных изображений лиц, называемых "собственными лицами" (Eigenfaces). Для каждого лица этой таблицы строится набор (вектор) его главных компонент. Изображение, соответствующее каждому такому вектору, имеет лицеподобную форму. Вычисление главных компонент сводится к вычислению собственных векторов и собственных значений ковариационной матрицы, которая рассчитывается из параметров изображения. Для каждого изображения лица вычисляются его главные компоненты. Обычно берется от 5 до 200 главных компонент. Процесс распознавания заключается в сравнении главных компонент неизвестного изображения с компонентами всех собственных лиц и представлении каждого неизвестного изображения лица в виде линейной комбинации собственных лиц. Система аппроксимирует изображение как комбинацию собственных лиц. Степень различия результатов аппроксимации двух или нескольких исходных изображений соответствует степени их сходства. Таблица исходных изображений (Source_Tab) и таблица собственных лиц (Eigenfaces_Tab) имеют общую структуру, содержащую файл изображения и вычисленные главные компоненты (parameters).

Сравнение компонент каждого исходного изображения с компонентами каждого изображения таблицы "собственных лиц" реализуется SQL-запросом SELECT, содержащим операцию JOIN:

```

SELECT Parameters_Source_Tab ^ Parameters_Eigenfaces_Tab
FROM Source_Tab INNER JOIN Eigenfaces_Tab
ON (id_Source_Tab = id_Eigenfaces_Tab)

```

В приведенной конструкции:

- Source_Tab - таблица, содержащая исходные изображения лиц;

- Eigenfaces_Tab – таблица, содержащая "собственные лица";
- Parameters_Sourse_Tab ^ Parameters_Eigenfaces_Tab – побитовое исключающее ИЛИ для сравнения главных компонент исходного изображения и изображения собственного лица;
- id_Sourse_Tab, id_Eigenfaces_Tab – поля для связывания записей изображений одного класса.

Параллельная реализация операции JOIN выполнена на основе принципа симметричного горизонтального распределения участвующих в работе оператора таблиц. В рассматриваемом случае таблицы Sourse_Tab и Eigenfaces_Tab разбиваются на фрагменты – классы эквивалентности, которые содержат строки с результатами сравнения главных компонент. При этом пары фрагментов таблиц распределяются между вычислителями по эвристическому алгоритму бустрофедона [10], образуя программно-аппаратный вычислительный комплекс, реализующий параллельную обработку данных.

Еще один пример распараллеливания JOIN соответствует поиску видеозаписей нужных событий в большой базе видеоархива с использованием метода индексирования R-Tree, предложенного Гуттманом [4]. Методы индексирования пространственной информации, хранящейся в СУБД, сводятся к делению пространства, содержащего видеообъекты, на некоторые условные квадраты или прямоугольники (Рис.2) – bounding box (BB).



Рис.2. R-tree для городов и деревень Греции. Данные взяты с rtreeportal.org

Такая схема позволяет при обработке запроса выполнять двухуровневый поиск: сначала из базы через индекс с помощью приближительного алгоритма выбираются потенциальные объекты, а потом к предварительно отобранному множеству применяются более сложные алгоритмы, позволяющие точно определить нужные объекты. Такой индекс представляет собой вспомогательную структуру данных, предназначенную для ускорения получения данных удовлетворяющих определенным поисковым критериям. Каждый узел R-Tree может содержать переменное количество записей, но не больше заранее определенного максимума. Каждая запись во внутренних узлах содержит ссылку на дочерний узел и BB, который содержит все записи этого дочернего узла. Каждая запись конечного узла (leaf node) содержит ссылку на данные и BB этих данных. Таким образом, индекс R-Tree обеспечивает двухуровневое выполнение поискового запроса, но при этом он не делит пространство на условные равные квадраты, а вписывает каждый объект (или группу объектов) в свой собственный прямоугольник. Прямоугольник может включать в себя как объекты, так и другие прямоугольники. Обычно, индекс представляет собой файл на диске, и, если этот файл становится очень большим, то может потребоваться дополнительный индекс для ускорения работы самого индекса.

Особенность древовидного хранения видеообъектов в реляционной базе данных заключается в наличии дополнительной таблицы связей между сущностями основной таблицы видеозаписей. Таблица связей должна содержать как минимум два поля: ссылку на предка (ancestor) и ссылку на потомка (descendant). Таким образом, для обработки дерева понадобятся две таблицы (Рис. 3):

- Videos будет содержать данные о BB - фрагменте,
- Videos_treepath будет содержать данные об иерархии фрагментов.

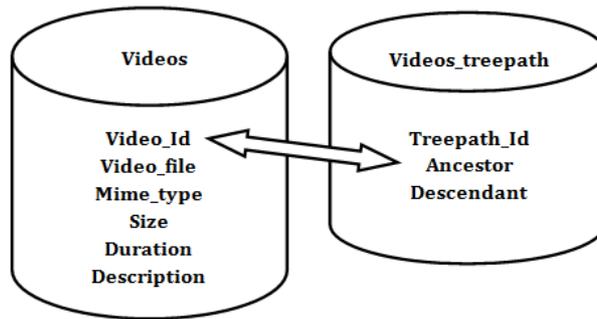


Рис.3. Схема таблиц для поиска видеозаписей в архиве

Выбор потомков для каждого исходного изображения выполняется SQL-запросом SELECT, содержащим операцию JOIN:

```
SELECT * FROM Videos JOIN Videos_treepath ON (Videos.Videos_Id = Videos_treepath.Ancestor)
```

Параллельная реализация операции заключается в распределении пар фрагментов обеих таблиц данного запроса между вычислителями.

Реализация предложенного подхода веб-ориентированной информационной системой обеспечит масштабируемость, отказоустойчивость и доступность результатов видеонализа на различных клиентских платформах, когда пользовательский интерфейс реализуется на базе браузера, десктоп или мобильных приложений. Ввод изображений в БЛОБ-хранилище или SQL-СУБД может выполняться средствами клиентских приложений, встроенных непосредственно в источник видеоданных. При этом часть алгоритмов видеоналитики может быть встроена в источник данных, например, функции постоянного контроля ситуации и быстрого принятия решения, что позволит уменьшить нагрузку на каналы связи, передавая на сервер лишь часть изображений, отобранных этими алгоритмами, и метаданные. Все это позволит реализовать многопользовательскую совместную работу с видеоданными, в том числе с Big Data. Структура гибридного решения, содержащего веб-сервис для решения задач видеонализа и реализации интеллектуальных методов обработки видеоконтента (Рис.4):

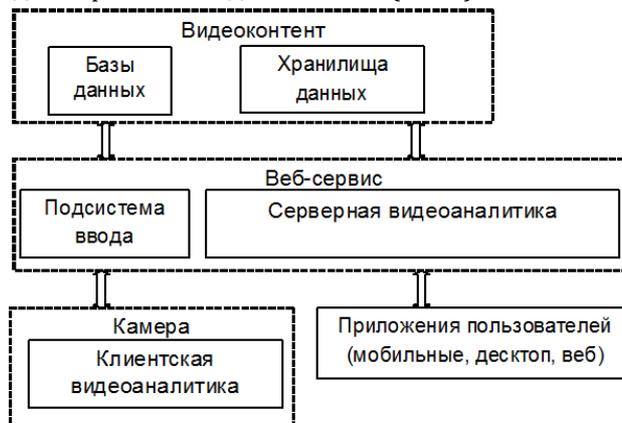


Рис. 4 Гибридное решение, содержащее веб-сервис видеоналитики

Проектируемый веб-сервис (или несколько сервисов) будет состоять из следующих подсистем интеллектуального анализа:

- поиск в архиве для расследования происшествий;
- распознавание объектов;
- детектирование событий, включая перемещения;
- прогнозирование с целью предупреждения аварийных ситуаций.

Для хранения видеоконтента используются средства компании Microsoft, которая согласно отчету Gartner 2016 года [5] входит в четверку лидеров по организации хранилищ данных и средств управления данными для аналитики, наряду с IBM, Oracle и SAP. Следует отметить, что в новой версии SQL Server 2016 [11] поддерживается больше решений для управления данными в целях аналитики реального времени. Для программной реализации веб-сервиса выбран паттерн построения RESTful WebAPI шаблона MVC среды MS Visual Studio.NET. В нем работа с данными строится на основе их объектно-реляционной модели, создаваемой средствами библиотеки Entity Framework. Библиотека самостоятельно создает SQL-код запросов, используя средства языка C# (LINQ) и специальные методы класса контекста DbContext, и передает его в систему управления

данными. Шаблон поддерживает технологию REST, включая способы обработки и передачи состояний ресурсов с явным использованием HTTP-методов GET, POST, PUT, DELETE. Публикация веб-сервиса на сервер IIS обеспечивает минимальное время отправки результатов обработки видеоданных приложениям клиентов. Возможности системы легко расширяются путем добавления новых модулей в процессе разработки подсистемы видеоаналитики для конкретной предметной области.

Для организации работы процедур обработки изображений (детектирование движения, поиск лиц и т.п.) используются готовые решения библиотеки AForge.NET [2]. Это библиотека на C# предназначена для разработчиков – исследователей в области компьютерного зрения и искусственного интеллекта. Сферы ее применения – обработка изображений, распознавание образов, генетические алгоритмы, робототехника. Расширение библиотеки - Accord.NET [1] включает средства прогнозной аналитики (машинное обучение, регрессии, нейронные сети, деревья решений и др.). Программные модули веб-сервиса видеоанализа содержат обращения к следующим компонентам библиотеки:

- AForge.Imaging — находит отдельные объекты в изображении с целью последующего распознавания;
- AForge.Vision — обнаруживает и обрабатывает движения;
- AForge.Video — выполняет предобработку видеопоследовательности.

Далее приводятся результаты эксперимента, выполненного на примере работы модуля обнаружения подвижных объектов с использованием компонентов AForge.Vision и AForge.Video. Модуль входит в состав подсистемы поиска в базе данных видеоархива по запросу пользователя. Схема работы модуля обнаружения движения в реальном времени (Рис.5):

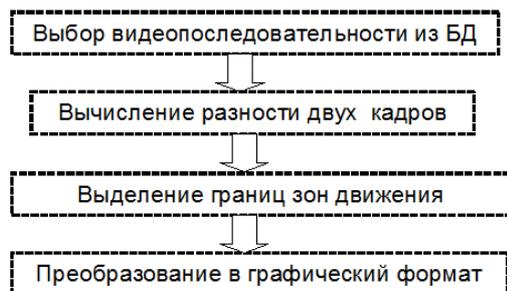


Рис 5. Схема работы модуля обнаружения движения в реальном времени

Пример видеокadra (Рис.6) с изображением движения руки одного из авторов данной статьи иллюстрирует работу модуля:



Рис.6. Результаты обнаружения движения руки

Все сказанное выше дает право заключить, что предложенный авторами подход к разработке веб-сервера с использованием параллельной базы данных эффективен в решении задач веб-ориентированной видеоаналитики. История показывает [8], что узкоспециализированные машины баз данных в настоящее время оказались несостоятельными, в то время как параллельные системы баз данных достигли огромных успехов. Такие успешные системы для видеоанализа строятся на обычных процессорах, памяти и дисках. Именно в этих системах в основном отразились идеи высоко параллельных архитектур, и они заняли наилучшую позицию для потребления огромного числа быстрых и дешевых дисковых устройств, процессоров и памяти, обещаемых прогнозами современных технологий.

Авторы благодарны кандидату технических наук Мунерману В.И. за неоценимую помощь в подготовке этой работы.

Литература

1. Accord Framework.NET. URL:<http://accord-framework.net/>
2. AForge.NET. URL:<http://www.aforgenet.com/>
3. Dewitt David J, Gray Jim. Parallel database systems: the future of high performance database systems. Communications of the ACM, Volume 35, Number 6, June, 1992
4. Guttman Antonin. R - trees: a dynamic index structure for spatial searching. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 47-54, 1984.
5. Magic Quadrant for Data Warehouse and Data Management Solutions for Analytics. URL:<https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2ZFBVZ5B&ct=160225&st=sb/>
6. Moghaddam B. and Pentland A. «Probabilistic Visual Recondition for Object Recognition», Trans. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, July 1997, pp. 696-710
7. Rouse Margaret. Real - time analytics. - 2016. URL: <http://searchcrm.techtarget.com/definition/real-time-analytics/>
8. Кузнецов С.Д. Универсальность и специализация: время разбивать камни?. - 2007. URL:<http://www.citforum.ru/>
9. Левин Н.А., Мунерман В.И. Модели обработки больших объемов данных в системах массового параллелизма. – Системы высокой доступности, т.9, № 1, 2013, с. 35-43.
10. Мунерман В.И., Самойлова Т.А. Параллельная реализация решения оптимизационных задач средствами баз данных. – Системы высокой доступности, т.11, №1, 2015, с.18-22.
11. Пять преимуществ встроенных функций SQL Server 2016. URL:https://www.microsoft.com/ru-ru/server-cloud/products/sql-server/overview.aspx?wt.mc_id=AID529492_SEM_o8WWJUyf/
12. Форсайт А., Понс Дж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: «Вильямс», 2004. 928с.

References

1. Accord Framework.NET. URL:<http://accord-framework.net/>
2. AForge.NET. URL: <http://www.aforgenet.com/>
3. Dewitt David J, Gray Jim. Parallel database systems: the future of high performance database systems. Communications of the ACM, Volume 35, Number 6, June, 1992
4. Guttman Antonin. R - trees: a dynamic index structure for spatial searching. ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, pp. 47-54, 1984.
5. Magic Quadrant for Data Warehouse and Data Management Solutions for Analytics. URL: <https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2ZFBVZ5B&ct=160225&st=sb?/>
6. Moghaddam B. and Pentland A. «Probabilistic Visualrecondition for Object Recognition», Trans. IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, July 1997, pp. 696-710
7. Rouse Margaret. Real - time analytics. - 2016, URL: <http://searchcrm.techtarget.com/definition/real-time-analytics/>
8. Kuznetsov S.D. Versatility and specialization: Time to break the stones ?. - 2007, URL: <http://www.citforum.ru/>
9. Levin, N.A., Munerman V.I. Models of processing large amounts of data in a massively parallel systems. - High availability, v.9, number 1, 2013, p. 35-43.
10. Munerman V.I., Samoilova T.A. Parallel implementation of solving optimization problems by means of databases. - High availability, t.11, №1, 2015, s.18-22.
11. Five advantages built-in functions SQL Server 2016. URL: https://www.microsoft.com/ru-ru/server-cloud/products/sql-server/overview.aspx wt.mc_id = AID529492_SEM_o8WWJUyf?/
12. Forsyth A., Ponce J. Computer vision. The modern approach. - M. "Williams", 2004. 928 p.

Поступила 15.10.2016

Об авторах:

Самойлова Татьяна Николаевна, доцент кафедры информатики Смоленского государственного университета, кандидат технических наук, tatsam@hotbox.ru;

Кравченко Виталий Витальевич, студент физико-математического факультета Смоленского государственного университета.