

Análise do desempenho de consultas SPARQL em sistemas gerenciadores de triplas

Felipe Luzzardi da Rosa¹, Roger da Silva Machado¹,
Adenauer Corrêa Yamin¹, Ana Marilza Pernas¹

¹Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas – RS – Brasil

{fldrosa, rdsmachado, adenauer, marilza}@inf.ufpel.edu.br,

Resumo. *Este trabalho apresenta uma comparação com base no tempo necessário para a realização de consultas em sistemas gerenciadores de dados em triplas. Foram analisadas as ferramentas AllegroGraph, Stardog e Virtuoso utilizando o benchmark WatDiv. Nos testes realizados a ferramenta Virtuoso apresentou o melhor desempenho na grande maioria das consultas.*

1. Introdução

É crescente o número de esforços de pesquisa ligados a aplicações que utilizam informações vindas de ontologias ou triplas RDF (*Resource Description Framework*), principalmente em áreas como Big Data, Internet das Coisas (IoT) e Computação Ubíqua. Embora diversas propostas apresentadas neste âmbito façam uso de tais informações, poucas versam sobre a maneira de garantir a persistência das mesmas, ou então, quando fazem, utilizam repositórios relacionais para tal fim [Santos and Moura 2016] [Veiga and Neto 2016]. Uma forma mais eficiente de manter a persistência de dados ontológicos é utilizando um modelo de armazenamento em triplas.

O modelo de armazenamento em triplas pode ser dividido em três grandes categorias com base na arquitetura de sua implementação: em memória; nativo; e externo. No armazenamento em memória o modelo de triplas é mantido na memória principal do dispositivo, porém, tal método é ineficiente para o armazenamento de grandes volumes de dados [Maharajan 2012]. O modelo de armazenamento nativo de triplas fornece a persistência com a implementação de uma base de dados própria da ferramenta utilizada, sendo possível recuperar os dados posteriormente por meio de consultas utilizando uma linguagem apropriada, como a SPARQL. Na categoria de armazenamento externo, as triplas são configuradas para executarem em bancos de dados de terceiros, utilizando modelos relacionais de armazenamento, por exemplo.

Nota-se que o armazenamento nativo de triplas está ganhando força e popularidade no meio acadêmico, em grande parte devido a seus tempos de carregamentos inferiores e à sua capacidade de serem otimizadas para RDF [BioOntology 2011]. Sendo assim, é importante conhecer as diversas ferramentas disponíveis para armazenamento nativo de triplas, analisando suas características e desempenho, de forma a se escolher a mais eficiente. Deste modo, este artigo propõe-se a fazer uma comparação de desempenho baseada no tempo de execução de consultas entre três das ferramentas de armazenamento de triplas mais populares atualmente: AllegroGraph, Stardog e Virtuoso. Para tais testes foi utilizado o *benchmark* WatDiv, que disponibiliza vinte consultas distintas separadas em quatro grupos e a geração de bases de dados de tamanhos variados.

O restante do artigo está dividido da seguinte forma: a Seção 2 versa sobre as ferramentas de armazenamento nativas em formato de triplas, apresentando também um breve resumo sobre as três ferramentas analisadas; a Seção 3 apresenta o *benchmark* WatDiv; a Seção 4 mostra os resultados obtidos, discutindo-os em relação às três ferramentas; por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais e os trabalhos futuros.

2. Ferramentas de gerenciamento de dados nativo em triplas

Os bancos de dados de armazenamento nativo em triplas foram construídos para o armazenamento e recuperação de informações no formato RDF. São indicados para situações em que a informação precisa ser processada por máquinas e não somente apresentada, fornecendo uma interface que permite que informações sejam trocadas entre aplicações sem perda de consistência [Otoni 2013]. A seguir, são apresentadas três ferramentas utilizadas para armazenamento nativo de triplas.

AllegroGraph¹ é uma estrutura de banco de dados e aplicação de alto desempenho para o armazenamento e consulta de dados no formato de triplas. Ela pode ser implantada como um servidor de banco de dados independente e oferece interfaces para acesso remoto, onde a comunicação entre os processos de servidor e cliente é realizada através da web. A ferramenta possui a possibilidade de processamento utilizando SPARQL, RDFS (*Resource Description Framework Schema*) e Prolog a partir de aplicações clientes.

Stardog² é um sistema gerenciador de banco de dados gráfico semântico, implementado em Java. Ele possui suporte para RDF e OWL *Web Ontology Language*, fornecendo capacidades de raciocínio e utilizando SPARQL como linguagem de consulta. Ele possui disponibilidade de acesso aos dados utilizando a web, e *plugins* que possibilitam a utilização de outros *frameworks*.

Virtuoso³ é um *middleware* e sistema gerenciador de banco de dados híbrido que combina a funcionalidade de um banco de dados relacional, objeto relacional, XML e RDF. O armazenamento de dados é realizado utilizando uma quadrupla onde, além de armazenar a tripla básica (sujeito, predicado e objeto), também é armazenado o grafo relacionado. Com isso o Virtuoso consegue trabalhar com múltiplos grafos de forma simultânea. A ferramenta pode ser utilizada como um servidor de aplicação para serviços Web e oferece uma interface Web para consultas SPARQL.

3. Benchmark

O *benchmark* escolhido para os testes desenvolvidos neste artigo foi o Waterloo SPARQL Diversity Test Suite (WatDiv), desenvolvido pela Universidade de Waterloo [Aluç 2014]. Dentre os principais critérios de escolha deste *benchmark* destacam-se os diferentes tipos de consulta disponibilizados, o fato de ele ser baseado realmente em triplas, e sua grande abrangência, o que permite que ele identifique problemas de desempenho sobre sistemas gerenciadores de triplas existentes que não são detectados por outros *benchmarks*. O WatDiv fornece um gerador de *datasets* com um fator de escala variável, permitindo assim a geração de *datasets* de diversos tamanhos. Além disso, é fornecido um gerador de consultas SPARQL, permitindo que sejam geradas vinte consultas distintas, separadas

¹<franz.com/agraph/allegrograph/>

²<stardog.com/>

³<<http://virtuoso.openlinksw.com/>>

em quatro grupos: Lineares (L), mais simples e diretas; Estrela (S) consultas que referenciam diversos nodos em um formato de estrela; "Floco de Neve"(F), consultas que referenciam vários nodos que por sua vez referenciam outros nodos; e Complexas (C), consultas que utilizam uma mistura dos formatos anteriores.

4. Testes e Resultados

Foram realizados testes focados no tempo de execução de cada uma das vinte consultas SPARQL fornecidas pelo WatDiv, utilizando *datasets* com 1, 5 e 10 milhões de triplas nas três ferramentas analisadas. Os testes com 10 milhões de triplas não foram realizados na ferramenta Allegrograph devido a limitações de sua licença gratuita. Cada teste foi realizado cinco vezes, sendo registradas as médias do tempo de execução em segundos para cada consulta. Os resultados são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1. Tempo de execução, em segundos, das consultas dos tipos C e L

Ferramentas	C1		C2		C3		L1		L2		L3		L4		L5	
Allegro	1	0,0728248	1	0,0770824	1	0,4375378	1	0,0643506	1	0,0568794	1	0,0616546	1	0,063656	1	0,0678878
	5	0,1296854	5	0,0967634	5	1,958557	5	0,0616158	5	0,0571544	5	0,0627976	5	0,0590924	5	0,0614466
	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
Stardog	1	0,0986196	1	0,0967634	1	0,0996898	1	0,0947406	1	0,094898	1	0,0998588	1	0,0956404	1	0,097169
	5	0,1008178	5	0,1020082	5	0,0997854	5	0,1030084	5	0,099584	5	0,0984724	5	0,1004204	5	0,1025072
	10	0,1006606	10	0,0994658	10	0,0935464	10	0,0980908	10	0,095526	10	0,0916584	10	0,098767	10	0,0938232
Virtuoso	1	0,064128	1	0,066897	1	0,0629626	1	0,059044	1	0,058974	1	0,057987	1	0,0576816	1	0,0580234
	5	0,0643752	5	0,0737042	5	0,0637796	5	0,0577476	5	0,0598486	5	0,0623434	5	0,0568444	5	0,0582824
	10	0,068031	10	0,0739352	10	0,0634726	10	0,0609034	10	0,0603972	10	0,0625004	10	0,0634382	10	0,0632302

Tabela 2. Tempo de execução, em segundos, das consultas do tipo F

Ferramentas	F1		F2		F3		F4		F5	
Allegro	1	0,0641824	1	0,0578822	1	0,0669106	1	0,067333	1	0,0914706
	5	0,115556	5	0,0673398	5	0,0629318	5	0,0857004	5	0,108796
	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
Stardog	1	0,095435	1	0,0950576	1	0,0956896	1	0,0997422	1	0,0990498
	5	0,1007864	5	0,1013582	5	0,1061386	5	0,1019098	5	0,0987932
	10	0,0950134	10	0,0924756	10	0,1020956	10	0,099365	10	0,0950358
Virtuoso	1	0,063648	1	0,0801034	1	0,0642348	1	0,0792464	1	0,0635378
	5	0,0642144	5	0,0796122	5	0,0656168	5	0,0792714	5	0,0612986
	10	0,0656276	10	0,073142	10	0,0642534	10	0,085988	10	0,067115

Tabela 3. Tempo de execução, em segundos, das consultas do tipo S

Ferramentas	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7	
Allegro	1	0,0668774	1	0,06412	1	0,0613696	1	0,0613696	1	0,0543772	1	0,0548694	1	0,057317
	5	0,0963936	5	0,0793994	5	0,0750856	5	0,0863822	5	0,085407	5	0,0563396	5	0,0554092
	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-	10	-
Stardog	1	0,0947322	1	0,1018032	1	0,0962996	1	0,0971264	1	0,095974	1	0,0978992	1	0,0976978
	5	0,1044178	5	0,1024508	5	0,1031698	5	0,1041022	5	0,100918	5	0,0988374	5	0,0976624
	10	0,1009872	10	0,0952024	10	0,097306	10	0,094586	10	0,1024596	10	0,0993094	10	0,0996264
Virtuoso	1	0,3289344	1	0,0609126	1	0,058814	1	0,0604578	1	0,0597912	1	0,0593226	1	0,0587208
	5	0,348566	5	0,059431	5	0,0615134	5	0,0616746	5	0,060899	5	0,0582094	5	0,0600702
	10	0,326622	10	0,0636436	10	0,0627762	10	0,064229	10	0,063713	10	0,0659842	10	0,0637428

Observando os tempos, é possível concluir que a ferramenta Virtuoso apresentou os melhores resultados, tendo sido a mais rápida na grande maioria das consultas. Também pode ser notado que o Stardog obteve resultados muito similares em todos os testes realizados, tendo sido a ferramenta com menor alteração de desempenho entre tamanhos diferentes de base de dados. Destaca-se que, com a realização do teste t de Student⁴ com intervalo de confiança de 95%, foi detectado que os resultados das consultas S2, S3, S4, S7, L2, F1 e F3 para o tamanho de 1M assim como os das consultas L3, F3 e S6 para o tamanho de 5M entre as ferramentas AllegroGraph e Virtuoso não apresenta diferenças estatísticas significativas.

5. Considerações Finais

Este trabalho realizou uma comparação de desempenho relacionado ao tempo de execução de consultas SPARQL entre três ferramentas de armazenamento em formato de triplas: AllegroGraph, Stardog e Virtuoso. Foi apresentada uma descrição de cada ferramenta analisada e também do *benchmark* utilizado para a execução dos testes, o WatDiv. Os testes consideraram o tempo de execução, em segundos, de vinte consultas diferentes em três tamanhos de bases de dados, contendo um, cinco e dez milhões de triplas cada uma. Ao fim dos testes foi possível concluir que a ferramenta Virtuoso foi a que apresentou o melhor desempenho geral, apresentando o tempo de execução mais baixo na grande maioria das consultas.

Como trabalhos futuros destaca-se a realização de testes com outras ferramentas de armazenamento em formato de triplas, assim como testes com bases de dados maiores e com métodos estatísticos mais sofisticados para aferição do tempo médio de execução.

Referências

- Aluç, G. (2014). Diversified stress testing of rdf data management systems. Master's thesis, David R. Cheriton School of Computer Science, Waterloo, ON, Canada.
- BioOntology (2011). Comparison of Triple Stores. Disponível online em: <https://www.bioontology.org/wiki/images/6/6a/Triple_Stores.pdf>. acesso em novembro 2016.
- Maharajan, S. (2012). Performance of native sparql query processors. Masters theses, Department of Information Technology, Uppsala University.
- Otoni, P. P. (2013). Ambiente para automação via web semântica utilizando linux embarcado em microcontroladores arm. Graduação em engenharia elétrica com ênfase em eletrônica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.
- Santos, R. L. S. and Moura, R. S. (2016). Extração de métricas e análise de sentimentos em comentários web no domínio de hotéis. In *BraSNAM - 5º Brazilian Workshop on Social Network Analysis and Mining*.
- Veiga, E. F. and Neto, R. F. B. (2016). Um serviço de representação ontológica de contexto baseada no padrão de projeto estímulo-sensor-observação. In *SBCUP - 8º Simpósio Brasileiro de Computação Ubíqua e Pervasiva*.

⁴Teste estatístico que tem por objetivo detectar se duas médias podem ser consideradas estatisticamente diferentes.