

Uma abordagem de *Middleware* Para Geração de Fluxos de Eventos Semânticos em Ambientes de IoT.

Rodolfo Sobreira Alves¹, Anderson Soares Costa²,
Alysson Cirilo Silva³, Francisco José da Silva e Silva⁴

¹Laboratório de Sistemas Disbruidos Inteligentes (LSDI)
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
São Luis – MA – Brasil

Abstract. *Considering the heterogeneity of smart objects, communication technologies and the need for interoperability between devices and applications in IoT environments, the aim is to combine techniques of data flow processing with knowledge representation techniques, generating thus streams of semantic events. To validate the proposal of this work, two use cases were used.*

Resumo. *Considerando a heterogeneidade de smart objects, tecnologias de comunicação e a necessidade de interoperabilidade entre os dispositivos e aplicações em ambientes de IoT, têm-se como objetivo combinar técnicas de processamento de fluxos de dados com técnicas de representação de conhecimento, gerando assim fluxos de eventos semânticos. Para validar a proposta deste trabalho, foram utilizados dois casos de uso.*

1. Introdução

A Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) é uma combinação entre a computação ubíqua e a Internet, propondo uma extensão desta para uma rede de objetos interligados para prestar serviços de transferência de informação, análise, aplicações e comunicações. No contexto da IoT, “coisas” são genericamente denominadas de objetos inteligentes (do inglês *smart objects*), por exemplo: *smartphones*, veículos de locomoção, equipamentos portáteis, dentre outros [Bandyopadhyay and Sen 2011]. Aplicações de IoT interagem com essas “coisas” de forma a torná-las principais atores dos cenários, produzindo e consumindo a maioria dos dados.

Várias aplicações complexas de IoT, como as propostas nos domínios de indústrias, sistemas de transporte e cuidados de saúde possuem requisitos de tempo real para essa aquisição e processamento de dados de sensores. O uso de modelos semânticos pode melhorar a qualidade do processamento dos dados e elevar o grau de consciência sobre os estados dos sistemas e os fatores físicos sobre os quais operam.

Eventos atômicos ou simplesmente eventos são registros imutáveis de algo que aconteceu no mundo real ou em um sistema de software. Dada uma sequência ordenada desses eventos através do tempo tem-se um fluxo de eventos ou fluxo de dados [Anicic et al. 2012]. O processamento de eventos complexos (*Complex Event Processing - CEP*) [Luckham 2008] surge como tecnologia para o processamento desses fluxos de dados, já que possibilita fazer a correlação de eventos de entrada contínuos e padrões de interesse, onde os resultados podem ser outros eventos complexos, que são derivados dos eventos de entrada.

Em ambientes de IoT vários problemas podem ser identificados como: (i) grande heterogeneidade de *smart objects* e tecnologias de comunicação para acesso aos mesmos, haja visto a grande diversidade de *smart objects* e protocolos de tecnologias de curto alcance (*Bluetooth Low Energy* por exemplo); (ii) a necessidade de interoperabilidade entre os dispositivos e aplicações em ambientes de IoT, em virtude da enorme quantidade de dados produzidos de diversas fontes e formatos diferentes.

A fim de superar os problemas (i) e (ii), este trabalho tem como objetivo a combinar técnicas de processamento de fluxos de dados com técnicas de representação de conhecimento, gerando assim fluxos de eventos semânticos.

Este artigo foi organizado da seguinte maneira: na seção 2 será apresentado uma breve fundamentação teórica, na seção 3 é apresentado a proposta e como ela foi definida e realizada. Na seção 4 serão apresentados dois casos de uso relacionados na problemática encontrada. Na seção 5 é descritos os trabalhos relacionados a este artigo.

2. Fundamentação Teórica

Tim Berners-Lee et al. [Berners-Lee et al. 2001] descrevem a Web Semântica como uma extensão da rede atual na qual a informação recebe um significado bem definido, permitindo que computadores e pessoas trabalhem em cooperação. A web semântica tem como objetivo integrar e compartilhar recursos, conseguindo alcançar um alto nível de interoperabilidade semântica. Para alcançar este nível de interoperabilidade, deve-se estruturar os dados formalmente, de modo a não existir ambiguidades, permitindo sua interpretação indubitável por máquinas.

2.1. Ontologias

Em Ciência da Computação, ontologias, que são descrições de conceitos e relacionamentos existentes entre eles, são aplicadas à modelagem tanto em sistemas baseados em bancos de dados quanto em sistemas de representação do conhecimento [Mcguinness et al. 2002]. Dentro desse contexto, uma ontologia pode exercer um papel fundamental para a inserção formal de semântica aos dados, pois são responsáveis por definir um vocabulário para determinado domínio, permitindo a realização da descrição de um recurso de maneira única. Em IoT, a ontologia pode ser utilizada para oferecer valores semânticos sobre os *smart objects* ao invés dos valores atribuídos por seus fabricantes para cada serviço, facilitando assim sua descoberta no ambiente.

Para estruturar e representar os recursos fornecidos pelos objetos que compõem a IoT, deve-se utilizar um modelo de dados padrão que consiga descrever formalmente os recursos e seus relacionamentos. Para suprir essa necessidade pode-se utilizar o RDF (*Resource Description Framework*), que é uma linguagem de representação da informação, que possibilita a descrição formal dos recursos e seus relacionamentos em um ambiente de IoT [Gandon and Schreiber 2014]).

2.2. CEP

O CEP [Luckham 2008] é uma tecnologia emergente que possibilita fazer a correlação de eventos de entrada contínuos e padrões de interesse, onde os resultados podem ser outros eventos complexos, que são derivados dos eventos de entrada. CEP faz o processamento de fluxos de dados sobre eventos que acontecem permitindo inferir uma conclusão a partir deles. Através do processamento de eventos é possível combinar dados de

várias fontes para inferir eventos ou padrões que sugerem circunstâncias mais complexas [Luckham 2008].

Em contraste com os Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados, nos quais os dados são primeiro armazenados para depois serem consultados, o CEP armazena consultas contínuas e executa dados através delas, ou seja, ao invés de armazenar os dados, o CEP se concentra em analisar e processar continuamente os fluxos de dados que passam, usando o consultas armazenadas [Talavera et al. 2015].

3. Proposta

Para contornar os problemas gerados pela heterogeneidade e promover uma maior interoperabilidade, se faz necessário a utilização de um vocabulário comum que unifique a descrição de serviços e dados dos *smart objects*, assim como seus relacionamentos [Ganz et al. 2015]. O uso de ontologias permite que essas descrições possam ser representadas como informações de mais alto nível, tornando-os mais facilmente interpretáveis por humanos e por determinadas aplicações [Ganz et al. 2015].

Durante a pesquisa, várias ontologias no domínio da IoT foram analisadas, e algumas foram selecionadas para serem reutilizadas em uma ontologia de referência para este trabalho, devido a similaridade com o que se estava sendo proposto. As selecionadas foram: a SSN (*Semantic Sensor Networks*) [Compton et al. 2012], descreve os sensores e suas observações, os procedimentos envolvidos, as características estudadas de interesse, as amostras utilizadas e as propriedades observadas, bem como atuadores; a *M3-lite* [Agarwal et al. 2016] é uma ontologia para anotar semanticamente e interpretar facilmente os dados da Internet das Coisas (IoT); a *IoT-Lite* [Bermudez-Edo et al. 2016] é uma ontologia para representar os recursos, entidades e serviços da Internet das Coisas (IoT). IoT-Lite é uma instanciação da ontologia SSN, mas seu foco é na parte de geolocalização. A ontologia de referência herda os conceitos mais importantes dessas ontologias, como por exemplo: *Device*, *SensingDevice*, *Unit*, *GeoPoint*; e se encontra disponível no site do Laboratório de Sistemas Distribuídos Inteligentes ¹.

Os fluxos de dados gerados com base na ontologia são do formato *RdFQuadruple*, uma extensão do formato RDF. Sua estrutura se dá por meio de modelos estruturados em formato de quadruplas compostas por sujeito, predicado, objeto e uma variável para armazenamento de tempo.

As figuras 1 e 2 representação duas *RdFQuadruple*. A 1 é um exemplo de quadrupla para a descoberta de um determinado *smart object* no ambiente e o tempo da descoberta. A 2 representa a quadrupla de envio de dados com o tempo da medição.

```
static RdfQuadruple rdfQuadruple1 = new RdfQuadruple( subject: "FFE1-0000-1000-8000-00805F9B34FB",
    predicate: "iotlite+":"hasType", object: "ssn+":"SensingDevice", System.currentTimeMillis());
```

Figura 1. Exemplo de uma quadrupla para descoberta de sensores

O *Mobile-Hub*(M-Hub) [Talavera et al. 2015] é um serviço de *middleware* que executa em dispositivos pessoais móveis, responsável pela descoberta, conexão e aquisição de dados de baixo nível junto a *smart objects* próximos, servindo de ponte entre estes e a Internet, funcionando como um *gateway*.

¹<http://www.lsd.ufma.br/ontologias/lldi.owl>

```
static RdfQuadruple rdfQuadrupleResult = new RdfQuadruple( subject: "FFE1-0000-1000-8000-00805F9B34FB",
    predicate: iotlite+":hasResult", object: iotlite+data, System.currentTimeMillis());
```

Figura 2. Exemplo de uma quadrupla para distribuição de dados

Para a consolidação da proposta, foi concebida uma versão do M-Hub semântico, feita para suportar os *drivers* dos dispositivos semanticamente anotados, desenvolvidos para a distribuição dos fluxos de dados no formato de *RdfQuadruple* descritos conforme a ontologia definida. As funcionalidades responsáveis pela descoberta de serviços de sensores e atuadores do *middleware* foram alteradas para explorar a flexibilidade que uma busca por conteúdo anotado semanticamente proporciona. Com os *drivers* semânticos, os dados já irão ser disponibilizados a partir dele com semântica, dado que a ontologia oferece valores semânticos sobre os mesmos nos quais podem ser utilizados ao invés dos valores atribuídos por seus fabricantes para cada serviço.

4. Casos de Uso

O objetivo geral destes casos de uso foi validar que a solução proposta consegue anotar semanticamente dados produzidos por sensores descobertos no ambiente e distribuí-los para a nuvem de onde podem ser processados por tecnologias de processamento de fluxos de dados semânticos (e.g., C-Sparql²). Dessa maneira as aplicações consumidoras podem então usufruir de dados enriquecidos, como exemplificado nos itens 4.1 e 4.2.

4.1. Smart Lab

Fazendo uso da solução proposta foi desenvolvido um cenário de uso que consiste em diversas aplicações para o uso e monitoramento de um laboratório inteligente (*Smart Lab*). As salas do laboratório possuem sensores e atuadores para realizar o monitoramento constante das situações, podendo alertar em condições de perigo como incêndios. Uma das aplicações desenvolvidas, faz uso de sensores de temperatura para monitorar as salas, e os resultados podem ser observados no trecho de código da figura 3. As quadruplas disponibilizadas pelo M-Hub chegam na aplicação consumidora dessa maneira, seguindo o padrão estabelecido de sujeito, predicado, objeto e o *timestamp*.

```
1  -- {
2  "rdfQuadruple": [
3  {
4  "object": "http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn#SensingDevice",
5  "predicate": "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#:Type",
6  "subject": "http://purl.oclc.org/NET/UNIS/fiware
7  /iot-lite#FFE1-0000-1000-8000-00805F9B34FB",
8  "timestamp": 1533318129378
9  },
10 }
11 {
12 "object": "http://purl.oclc.org/NET/UNIS/
13 fiware/iot-lite#Celsius",
14 "predicate": "http://purl.oclc.org/NET/UNIS/
15 fiware/iot-lite#hasUnit",
16 "subject": "http://purl.oclc.org/NET/UNIS/fiware
17 /iot-lite#FFE1-0000-1000-8000-00805F9B34FB",
18 "timestamp": 1533318129378
19 }
20 {
21 "object": "http://purl.oclc.org/NET/UNIS/
22 fiware/iot-lite#TemperatureKind",
23 "predicate": "http://purl.oclc.org/NET/UNIS/fiware
24 /iot-lite#hasQuantityKind",
25 "subject": "FFE1-0000-1000-8000-00805F9B34FB",
26 "timestamp": 1533318129378
27 },
28 {
29 "object": "http://www.w3.org/ns/sosa/27_0",
30 "predicate": "http://www.w3.org/ns/sosa/:hasResult",
31 "subject": "0000ffe1-0000-1000-8000-00805f9b34fb",
32 "timestamp": 1533318129378
33 }
```

Figura 3. Resultados de uma medição de temperatura

4.2. Smart Parking

Baseado na proposta apresentada, foi desenvolvido um cenário de uso que consiste em uma aplicação para detecção de vagas livres em um estacionamento inteligente (*Smart*

²streamreasoning.org/resources/c-sparql

Parking) com base no perfil do motorista, apresentado na Figura 4. Como a solução faz uso de fluxos semânticos de eventos, foi preciso transformar esses registros que contém informações como o identificador da vaga, o *status* de ocupado ou livre e o horário em fluxos.

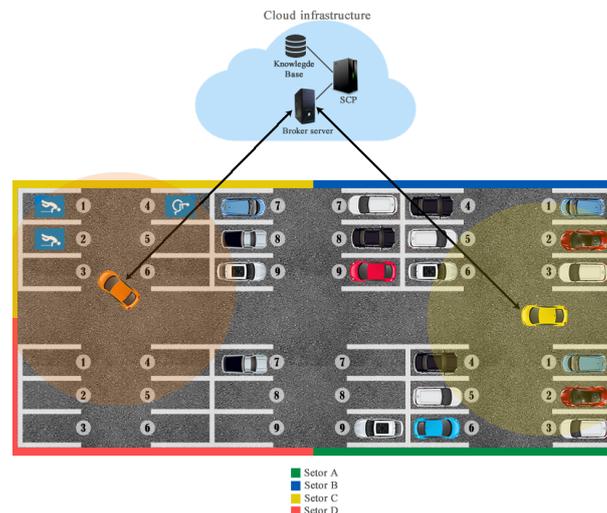


Figura 4. Estacionamento inteligente

Como já citado, o intuito da aplicação é detectar vagas livres de acordo com o perfil do usuário. Para isso é necessário levar em consideração não apenas os dados carregados nos fluxos, mas a combinação do mesmo com o conhecimento armazenado, podendo assim descobrir vagas livres para um usuário que tenha carro e que seja portador de deficiência física, por exemplo.

A partir dos casos de uso apresentados pode-se concluir que os fluxos de dados podem ser enriquecidos e distribuídos para plataformas de nuvem por meio de *middlewares* para IoT, como o que foi utilizado (M-Hub).

5. Conclusão

Este trabalho propõe uma solução para o problema da grande heterogeneidade de *smart objects* e da necessidade de interoperabilidade entre os diversos dispositivos e aplicações em ambientes de IoT. A abordagem utilizada foi combinar técnicas de processamento de fluxos de dados com técnicas de representação de conhecimento, permitindo a definição de um vocabulário comum e especificações mais complexas, gerando assim fluxos de eventos semânticos.

Foi desenvolvido um cenário de uso utilizando a solução proposta que consiste em laboratório inteligente *Smart Lab*, em que um conjunto de aplicações se comunicam com os sensores e atuadores do ambiente por meio do M-Hub, que compartilham os fluxos de dados na rede.

Como principais propostas para trabalhos futuros, pode-se citar alguns como a investigação de outras formas de avaliação, estender a ontologia de referência para que ela inclua conceitos referentes a qualidade de contexto e estender os conceitos aplicados nos *drivers* utilizados durante a pesquisa para outros dispositivos.

6. Agradecimento

Essa pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA, Brazil) Código 31/2016 UNIVERSAL e também faz parte do INCT of the Future Internet for Smart Cities financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Brazil) Código 465446/2014-0, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, Brazil) Código 88887.136422/2017-00, e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, Brazil) Código 15/24485-9.

Referências

- Agarwal, R., Fernandez, D. G., Elsaleh, T., Gyrard, A., Lanza, J., Sanchez, L., Georgantas, N., and Issarny, V. (2016). Unified iot ontology to enable interoperability and federation of testbeds. In *2016 IEEE 3rd World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, pages 70–75.
- Anicic, D., Rudolph, S., Fodor, P., and Stojanovic, N. (2012). Stream reasoning and complex event processing in etalis. *Semantic Web*, 3(4):397–407.
- Bandyopadhyay, D. and Sen, J. (2011). Internet of things: Applications and challenges in technology and standardization. *Wireless Personal Communications*, 58(1):49–69.
- Bermudez-Edo, M., Elsaleh, T., Barnaghi, P. M., and Taylor, K. L. (2016). Iot-lite: A lightweight semantic model for the internet of things. In *UIC/ATC/ScalCom/CBDCoM/IoP/SmartWorld*, pages 90–97.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., and Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific american*, 284(5):34–43.
- Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., García-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., Graybeal, J., Hauswirth, M., Henson, C., Herzog, A., Huang, V., Janowicz, K., Kelsey, W. D., Phuoc, D. L., Lefort, L., Leggieri, M., Neuhaus, H., Nikolov, A., Page, K., Passant, A., Sheth, A., and Taylor, K. (2012). The ssn ontology of the w3c semantic sensor network incubator group. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 17:25 – 32.
- Gandon, F. and Schreiber, A. T. (2014). Rdf 1.1 xml syntax. *W3C recommendation*.
- Ganz, F., Puschmann, D., Barnaghi, P., and Carrez, F. (2015). A practical evaluation of information processing and abstraction techniques for the internet of things. *IEEE Internet of Things journal*, 2(4):340–354.
- Luckham, D. (2008). The power of events: An introduction to complex event processing in distributed enterprise systems. In *International Workshop on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web*, pages 3–3. Springer.
- Mcguinness, D. L., Fikes, R., Hendler, J., and Stein, L. A. (2002). Daml+oil: an ontology language for the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, 17(5):72–80.
- Talavera, L. E., Endler, M., Vasconcelos, I., Vasconcelos, R., Cunha, M., and e Silva, F. J. d. S. (2015). The mobile hub concept: Enabling applications for the internet of mobile things. In *Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015 IEEE International Conference on*, pages 123–128. IEEE.