

IoT Projeto Komboios de Portugal

Flávio Silva^{1,2}, José Pacheco^{1,3}, and Sérgio Costa^{1,4}

¹ Universidade do Minho, Departamento de Informática, Portugal

² PG 57539

³ PG 55972

⁴ PG 54232

Abstract. O documento apresenta os critérios conceptuais acerca de uma implementação de um projeto de internet das coisas relativa a uma infraestrutura, nomeadamente, um serviço ferroviário de transporte de passageiros. O documento encontra-se dividido em 7 secções. A primeira contempla uma introdução do que achamos ser a internet das coisas, a segunda o enquadramento do projeto no tema da internet das coisas e a terceira respeita a pesquisa necessária para que pudéssemos avançar com a integração do sistema. A quarta secção diz respeito à arquitetura da solução e cobre os mecanismos de mensagens utilizadas bem como os respetivos protocolos. A quinta secção fala das linguagens de programação utilizadas na implementação do sistema. A sexta secção fala do resultado mais crítico dos testes realizados ao sistema, e a sétima secção fecha com aquilo que gostaríamos de vir a tratar no futuro.

Keywords: Cloud Computing · Radio-Frequency Identification · Asynchronous communication · Bluetooth Low Energy (BLE).

1 Introdução

A Internet das coisas é a relação entre diferentes componentes de hardware, que se relacionam entre si através de diferentes protocolos de comunicação, onde, suportados através de processos de software, tornam o sistema mais capaz e munido de funcionalidades outrora inexistentes.

2 Contextualização

A *Komboios de Portugal* é uma empresa especializada em transportes ferroviários, sendo o transporte de passageiros um dos serviços oferecidos pela empresa. Contudo, devido à falta de especialização na área da Internet das coisas, os utentes têm vindo a sofrer transtornos inusitados pela falta de interconectividade entre os seus títulos de transporte e toda a infraestrutura envolvente no momento de validação e pré-pagamento destes. Deste modo, a empresa contratou mão

de obra especializada para levar a cabo um projeto de interligação dos passes e títulos de transportes associados aos usuários da rede, que passarão a poder gerir os seus títulos a partir de um navegador web através do seu computador, ou telemóvel, pessoal. Com isto, a empresa prevê evitar as longas filas de espera que reiteram as aglomerações durante o decorrer das transições mensais, altura em que os utentes se dirigem aos pontos de venda para renovar os seus títulos de transporte.

3 Trabalho relacionado

O atual sistema de títulos de transporte de passageiros da empresa funciona através de identificação por rádio frequência, pelo que é determinante manter e integrar este meio como o principal método de identificação de um utente e do seu respetivo título de transporte no que diz respeito à solução de interconectividade que se quer vir a desenvolver.

Para integrar o atual sistema de títulos de transportes de passageiros com o futuro sistema, onde os utentes poderão ter acesso à gestão de títulos pessoais através da internet, é necessário recolher informação acerca da componente de armazenamento dos dispositivos portadores de tecnologia de identificação por rádio frequência, que informações estão aptos para armazenar, bem como que quantidade. Este estudo visa na conjectura da solução como um todo, aliando-se a mecanismos de coerência do sistema de gestão de títulos de transporte em momentos cuja ligação à internet não possa ser garantida.

De modo a minimizar os custos desta transação, são ainda precisas ser estudadas as máquinas que fazem parte do sistema de carregamento e compra de títulos de transporte, bem como da sua validação, quer a bordo, quer na altura do embarque. O estudo das capacidades destas máquinas é determinante para a conceção do sistema IoT. É importante saber que tipo de firmware é suportado por cada um dos leitores, bem como o tipo de comunicação inerente: se conseguem comunicar-se diretamente com um serviço na Nuvem, ou se precisam de integrar um gateway capaz de fornecer essa capacidade.

4 Arquitetura da solução

Através do estudo dos meios evolutivos, o grupo fez a sua adequação como parte integrante da solução desenvolvida para interligar as componentes dos títulos de transporte de passageiros a uma solução integrada através da Internet das coisas. Assim, e para facilitar a manutenção e escalabilidade de cada um dos componentes, o grupo de trabalho determina que, em cada um dos componentes de validação e aquisição de um título de transporte, seja necessário recorrer a um gateway que irá incorrer na computação em nuvem dos valores rádio lidos e registados no local – adotando o comportamento de um controlador entre os títulos de transporte e a Nuvem, e vice-versa.

Deste modo, o controlador é encarregue de portar o software indicado para cada ponto terminal durante o decorrer da utilização da infraestrutura no que aos títulos de transporte de passageiros diz respeito.

4.1 Componentes

No que diz respeito aos componentes da solução apresentada, a mesma engloba um total de dez componentes, onde cada um é caracterizado pelo facto de munir o sistema com uma funcionalidade independente, que contribui para a interligação do sistema IoT como um todo. Descrevendo o sistema através de uma abordagem ascendente, desde a sua periferia até ao seu núcleo, temos que, o primeiro componente envolve o reconhecimento de frequências rádio, capazes de codificar informação através da sua representação em binário – o RFID-RC522. A segunda componente, trata dos emissores de frequências rádio, bem como o tipo de circuito nele integrado, capaz de manipular essas mesmas frequências de modo a ser capacitado com o armazenamento de informação num contexto binário – os cartões ferroviários utilizados como título de transporte. A terceira componente engloba o firmware capaz de descodificar as frequências rádio, bem como de instruir através delas – Arduino UNO R4 WiFi. A quarta componente da solução trata do meio de comunicação entre o firmware e o gateway, que no nosso caso é o I2C. A quinta componente da solução encarrega-se da semântica das mensagens trocadas entre o firmware e o gateway, que resulta na criação de um protocolo de comunicação inerente às necessidades operacionais do projeto – não tem nome. A sexta componente diz respeito ao software integrado no gateway capaz de interagir com o firmware, também ele desenhado para se coadunar com a solução IoT desenvolvida. A sétima componente respeita os meios de comunicação envolvidos no gateway de forma a fazer progredir a informação rádio descodificada pelo firmware no sentido ascendente do veículo de informação – conexão internet. A oitava e nona componente estão relacionadas entre si, as mesmas dizem respeito à Nuvem *per se* e à sua computação envolvente, bem como aos protocolos de comunicação necessários para a troca semântica de informação entre o gateway e a Nuvem – caracterizados por uma API REST. A décima componente trata da plataforma web, ligada à Nuvem, que exporta as funcionalidades do sistema para o utilizador fora do meio infraestrutural que se faz representar pelos agentes de firmware que se encontram instalados nos terminais de processamento das ondas rádio. As funcionalidades incorporam o pagamento de novos títulos de transporte associados ao cartão de utente, quer em forma de contracto – passe – quer em forma de títulos individuais não contratuais.

4.2 Interações

As interações são determinadas consoante os terminais que se encontram ao longo da infraestrutura. Existem dois tipos de terminais, que se distinguem através do

software neles presente. Existem terminais para a aquisição e integração de contractos de títulos de transporte, onde os mesmos são capacitados com funcionalidades de verificação legal de embarque, bem como os terminais de validação do título de transporte antes do embarque, cujo objetivo é o de verificar a legalidade do utente que se encontra prestes a embarcar num dos itinerários realizados pela empresa de transporte. A primeira interação que ocorre no processo de apresentação do cartão rádio é a sincronização da sua informação com a Nuvem, o objetivo é alcançado através da implementação de relógios lógicos, capazes de discernir a atualidade da informação presente em ambas as componentes.

Após a apresentação do cartão rádio, o firmware fica à espera de um pedido proveniente do gateway. Os pedidos passam pelo registo de um novo cliente associado ao cartão, bem como contrato ou título de transporte individual. Progridem para o acrescento de um novo período contratual ou títulos de transporte individuais e termina na leitura parcial ou total do cartão rádio. Mediante a correteude das operações, são escritas novas informações quer no cartão, quer na Nuvem, onde a mesma suporta uma base de dados relativa ao serviço de transportes de passageiros onde é atualizada pelo gateway mediante do desfecho das operações de escrita no cartão (feedback devolvido pelo firmware).

Posteriormente, o utente do serviço de passageiros que se encontre registado em sistema e detentor de um cartão rádio, pode ainda realizar a sua gestão contratual, bem como de títulos individuais de transporte, através da plataforma web, que lhe vai permitir renovar o seu contracto bem como acrescentar títulos de transporte individual aos já existentes.

4.3 Protocolos

Relativamente aos protocolos em curso, existem 4 tipos de protocolos, difusos por 4 meios (rádio, I2C, BLE e Internet).

Relativamente ao protocolo difundido via rádio, o mesmo diz respeito às frequências difundidas de e para o cartão; agnósticas, contratualizadas através de duas bibliotecas: **SPI** e **MFRC522**, fazendo circular a informação de e para o firmware através de uma comunicação I2C. Posteriormente, no que diz respeito à comunicação entre o gateway e o serial, e vice-versa, foi criado um protocolo específico de modo a tornar síncrono o sistema de troca de mensagens. O protocolo obedece a um comprimento fixo de 22 bytes. Nele é perçível se a mensagem se trata de um pedido, de um reconhecimento de um pedido (acknowledgment), bem como o tipo de falha inerente ao pedido (falha de autenticação para escrita ou leitura no respetivo setor do cartão, leitura da informação presente no cartão, escrita da informação para o cartão, bem como invalidação da operação por incompatibilidade de fatores como mensagem mal transmitida, ou inconsistente com o tipo de operação – Rollback). Para além disso, a mensagem comporta o tipo de pedido, o campo de informação requerido (aquando do caso), e o conteúdo do campo – designadamente, o payload. Do gateway para a Nuvem a comunicação acontece via internet, tratando-se do uso de uma API REST, aqui são difundidos protocolos Http cuja informação acarreta a criação ou atualização

da informação de um título de transporte para o sistema de Nuvem, bem como a extração dos itinerários, preços e tipos de contratos.

O projeto foi ainda estendido através de monitorizações constantes acerca da temperatura e humidade das carruagens do comboio. O sensor integra um firmware com BLE integrado que expõe um serviço com duas características, valor corrente da humidade e da temperatura, nomeadamente, onde o gateway é responsável por aceder à respetiva característica de interesse e difundir os valores para a Cloud através de um protocolo API REST – Http.

4.4 Formato dos dados e mensagens

No que diz respeito ao formato dos dados que integram o sistema, os mesmos são divididos em dois tipos: estacionários e de progresso. No tipo de dados estacionários temos dois grupos distintos que são caracterizados por dados de proximidade – adjacência – e dados longitudinais. O primeiro grupo diz respeito à informação que circula junto dos utentes através dos cartões emissores de frequências rádio, ao passo que o segundo grupo diz respeito aos dados que se encontram na Nuvem para análise, coerência e agregação do sistema.

Na categoria de dados de progresso, estes são captados através do sensor HTS221, que é um sensor de humidade e temperatura cujas variâncias dos eletrólitos são transmitidas através do protocolo SPI [1].

Relativamente aos dados que se encontram armazenados nos cartões emissores de rádio frequência, os mesmos estão representados sob uma caracterização hexadecimal – 1 byte por cada dois dígitos. O cartão consegue armazenar um total de 1KByte, cuja informação é dividida ao longo de 16 setores, subdivididos em 4 blocos de 16 bytes. Estes blocos podem ser utilizados para armazenamento de informação à exceção do bloco que se encontra ao 3º offset a partir do bloco da base do setor, que diz respeito ao armazenamento da informação relativa às permissões de leitura e escrita no respetivo setor de acordo com as chaves respetivas, bem como do bloco base do primeiro setor, que diz respeito à identificação única do cartão, bem como algumas informações de fabrico [2].

Em relação aos dados estacionários na Nuvem, estes obedecem a dois planos: o de serviço de transportes de passageiros *per se* (**fig. 1, pag. 6**), assim como o de monitorização climática das carruagens de comboio.

No que diz respeito à troca de mensagens semânticas entre o firmware e o gateway, o projeto adota o seguinte formato codificado em `utf-8` sob um protocolo de serialização I2C (**tabela 1, pag. 7**).

De acordo com uma operação bem sucedida da escrita das informações acerca do novo cliente no cartão, o gateway encarrega-se do envio dessa mesma informação juntamente com o identificador único do cartão. A informação é enviada para um ponto específico da API REST, tendo por base as credenciais de um agente certificado para o efeito.

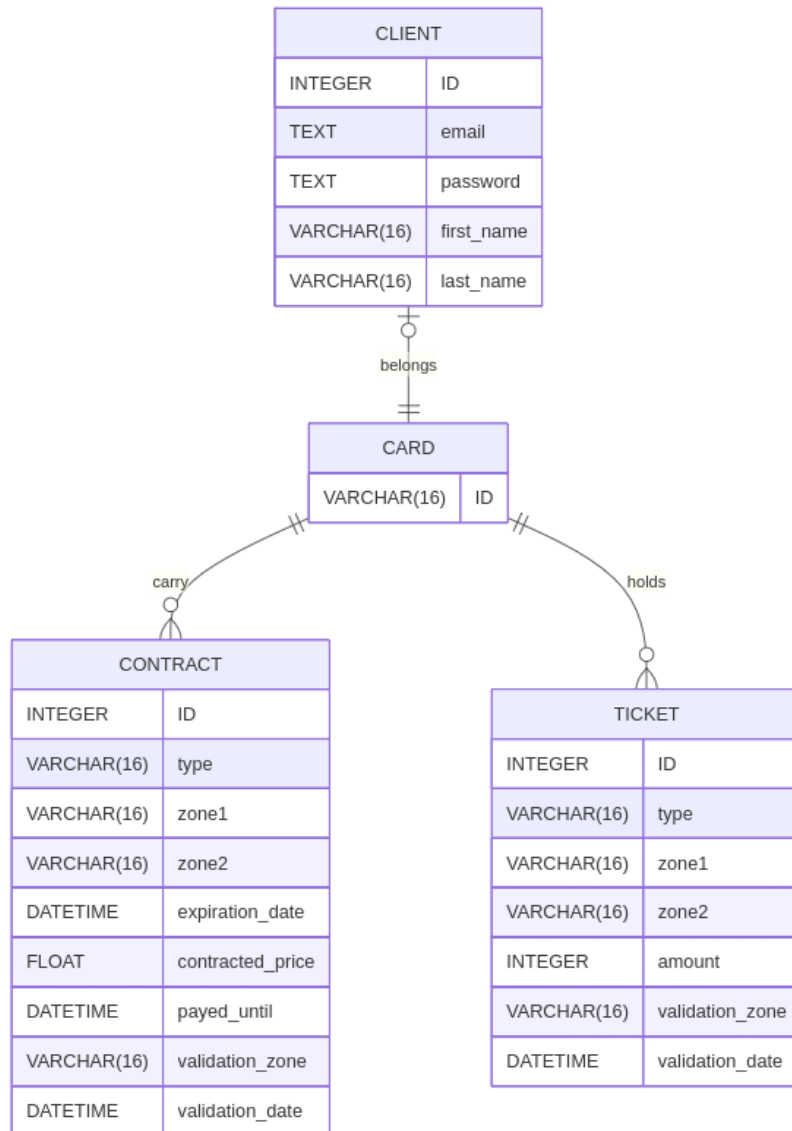


Fig. 1. Diagrama ER do serviço de transporte de passageiros.

Table 1. Registo de um novo cliente no cartão

Step	Meaning	Ack	Request	Field	Payload
1	Write client info request	::	01	00	#####
2	Write client info acknowledgement	A:	01	00	#####
2	Corrupted message	X:	??	??	#####
3	Write client info: first name	::	01	01	Bob#####
4	Acknowledgement	A:	01	01	Bob#####
4	Card write permission denied	W:	01	01	Bob#####
4	Card error during block write	!:	01	01	Bob#####
4	Corrupted message	X:	??	??	#####
5	Write client info: last name	::	01	02	James#####
6	Acknowledgement	A:	01	02	James#####
6	Card write permission denied	W:	01	02	James#####
6	Card error during block write	!:	01	02	James#####
6	Corrupted message	X:	??	??	#####

4.5 Visualização

No que diz respeito à visualização dos dados, o projeto conta com 4 facetas. Mediante permissões, o utilizador – Cliente – pode verificar as suas informações pessoais bem como títulos de transporte através da página web indicada para o efeito, o administrador – Super – pode consultar informações gráficas relativas à monitorização da temperatura e humidade das carruagens ao longo do tempo – **fig. 2 pag. 8**, e ainda aceder a um painel administrativo de consulta e criação de dados do sistema.

5 Implementação

Para a implementação da nossa solução, utilizámos C++ como linguagem de programação do firmware – Arduino. Para programar a receção e envio de dados através do gateway utilizámos múltiplos scripts de Python, cada um vocacionado para uma funcionalidade.

Relativamente à Nuvem, a mesma suporta um servidor Http, que expõe uma API REST para que o gateway possa realizar tanto o download como o upload da informação útil ao suporte das suas funcionalidades.

6 Testes e resultados

Através dos testes realizados conseguimos auferir que existe alguma fragilidade no que respeita à leitura e escrita de informação de e para o cartão de frequência rádio – problema comum nesta gama de materiais ⁵.

⁵ <https://github.com/miguelbalboa/rfid/tree/master?tab=readme-ov-file#troubleshooting>

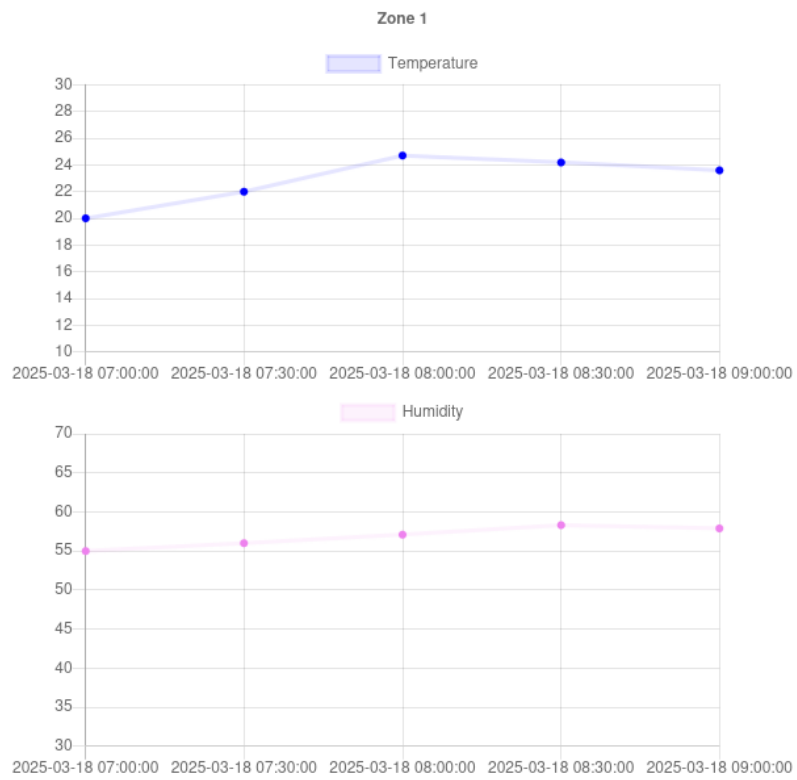


Fig. 2. Gráficos de variação de temperatura e humidade por zona/carruagem do comboio.

7 Conclusões e trabalho futuro

Uma vez que a camada web faz acompanhar o sistema como um meio de gestão junto do utente da infraestrutura ferroviária é importante desenvolver as operações de compra e renovação dos títulos de transporte através desta camada.

Relativamente ao sistema, gostaríamos de aprimorar os terminais de validação e renovação dos títulos de transporte.

References

1. HTS221 Datasheet, <https://www.st.com/resource/en/datasheet/hts221.pdf>, last accessed 2025/03/19
2. RFID RC522 Compatible Library Documentation & Datasheet, <https://github.com/miguelbalboa/rfid/blob/master/doc/rfidmifare.pdf>, last accessed 2025/03/19