

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA**

Rafael de Lucena Valle

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO COAP PARA SERVIÇOS DE
MONITORAMENTO EM REDES DE SENSORES SEM FIO**

Florianópolis

2014

Rafael de Lucena Valle

**IMPLEMENTAÇÃO DO PROTOCOLO COAP PARA SERVIÇOS DE
MONITORAMENTO EM REDES DE SENSORES SEM FIO**

Trabalho de conclusão de curso submetido
para a obtenção do Grau de Bacharel em
Ciências da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Augusto
Fröhlich

Coorientador: Prof. M.Sc. Arliones Hoel-
ler Jr

Florianópolis

2014

RESUMO

Redes de sensores são utilizadas para a captura e processamento de informação para atuação sobre um ambiente, tornando-as importantes em aplicações de controle, telemetria e rastreamento.

Estas redes são compostas por nós sensores que possuem processadores, transmissores e receptores simplificados, restrições de memória e energia, que trabalham em conjunto afim obter dados de um ambiente. Contudo possuem um custo baixo de equipamentos, tornando interessante a implantação destes sistemas.

O protocolo HTTP, um protocolo de aplicação muito utilizado na atualidade, foi desenvolvido para computadores de propósito geral, onde essas restrições não existem. Um protocolo leve como CoAP pode tornar viável o desenvolvimento de aplicações web em redes de sensores sem fio.

Este trabalho propõe uma infraestrutura de comunicação entre redes de sensores sem fio e a Internet, utilizando protocolos leves entre os nós sensores e um gateway GPRS para aproveitar a cobertura da tecnologia GPRS.

Com a implementação do CoAP é esperado uma redução de consumo de energia e memória, em relação a outros protocolos de aplicação existentes.

Palavras-chave: internetworking WSN IPv6 GPRS CoAP IoT

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Overview de uma redes de sensores sem fio	17
----------	---	----

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CoAP	Constrained Application Protocol
EPOS	Embedded Parallel Operating System
HTTP	Hipertext Transfer protocol.....
IETF	Internet Engineering Task Force
M2M	Machine-to-Machine
REST	Representational State Transfer
UDP	User Datagram Protocol
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
XML	Extensible Markup Language.....
ADESD	Application Driven Embedded System Design.....

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	13
1.1.1	Objetivos Específicos	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	METODOLOGIA	15
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	17
2.1	REDES DE SENSORES SEM FIO	17
2.2	ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS	18
2.3	RESTFUL	18
2.4	COAP	19
2.4.1	Formato das mensagens	19
2.4.2	Transmissão de Mensagens	20
2.4.3	Camada de Reposta e Requisição	22
2.4.4	Recursos	22
2.5	EPOS	22
2.6	TRABALHOS RELACIONADOS	23
2.6.1	Contiki	23
2.6.2	LibCoap	23
2.6.3	TinyOS	24
3	DESENVOLVIMENTO	25
3.1	ANÁLISE DE REQUISITOS	25
3.1.1	Requisitos Funcionais	25
3.1.2	Requisitos Não Funcionais	26
3.2	IMPLEMENTAÇÃO	26
3.3	TESTES	26
3.3.1	Testes na placa de desenvolvimento do módulo GPRS	26
4	AVALIAÇÃO	27
4.1	ANÁLISE FUNCIONAL	27
4.1.1	Limitações Funcionais	27
4.2	ANÁLISE ESTRUTURAL	27
4.3	ANÁLISE DE DESEMPENHO	27
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	31

1 INTRODUÇÃO

Redes de sensores e atuadores são utilizadas para a captação, processamento de informação e atuação sobre um ambiente, tornando-as importantes em aplicações de controle, telemetria e rastreamento de sistemas.

Nós que participam destas redes geralmente são computadores e rádios simplificados, que possuem restrições de memória, processamento, energia e capacidade de comunicação, mas um custo relativamente baixo de equipamentos.

O maior consumo de energia neste tipo de aplicação é do rádio, portanto os desafios dos algoritmos de comunicação nesta área são manter os rádios ligados o mínimo de tempo possível sem comprometer a conectividade do nó.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho é descrever e implementar webservices em uma rede sensores sem fio, que farão a aquisição dos dados do ambiente e disponibilizarão as informações captadas na Internet.

1.1.1 Objetivos Específicos

Este trabalho realizará o desenvolvimento de aplicações web e software de sistema para fazer a ponte entre a rede de sensores e a Internet. O Sistema operacional utilizado será o EPOS, Embedded Paralell Operating System. A aplicação integradora GPRS/802.15.4 irá executar na plataforma EposMoteII utilizando uma extensão GPRS, desenvolvida por uma colega de laboratório.

A comunicação entre os nós sensores e atuadores será feita através do protocolo de aplicação CoAP - Constrained Application Protocol. Um protocolo específico para redes de sensores sem fio. Será utilizado um porte de uma implementação livre do protocolo CoAP.

Sendo assim, os objetivos específicos são:

- Portar o protocolo CoAP para o EPOS.
- Implementar uma aplicação de redes de sensores sem fio.
- Desenvolver a aplicação gateway GPRS/802.15.4.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os mecanismos de confiabilidade na transmissão de dados, técnicas para se manter uma conexão do TCP e rearranjos que são feitos para garantir a ordem das mensagens recebidas não são adequados para um dispositivos com suprimento limitado de energia, como uma bateria ou uma placa fotovoltaica. Estas técnicas fazem que os transmissores fiquem ligados por mais tempo, para manter a conexão ou até mesmo para reenvio de mensagens. O maior consumo de energia de um nó sensor é no envio e recebimento de dados, quando mantem seu transmissor ligado. Além quem recebe a mensagem precisa montá-la e tratar as partes corrompidas.

Por sua vez o protocolo do UDP, não mantém conexão, dados são recebidos fora de ordem e o envio é feito de uma mensagem por vez. Isto implica também na redução do tamanho do cabeçalho do pacote.

Estas características demostram uma alternativa interessante para estes equipamentos limitados. Testes feitos em implementações de sistemas operacionais similares ao EPOS, como Contiki e TinyOS, utilizando o protocolo CoAP demonstram redução no consumo de energia e memória em relação ao HTTP.(Kuladinithi, Bergmann, Pötsch, Becker, Gorg, 2011)

A falta de padronização dos protocolos afeta o desenvolvimento de uma rede pública ubíqua de uma cidade inteligente por exemplo. Grande parte das soluções utiliza protocolos proprietários, que se comunicam apenas com os produtos de um mesmo fabricante.

O protocolo HTTP foi desenvolvido para comunicação de computadores de propósito geral, onde as restrições citadas não são comuns. Em relação ao tamanho, o pacote HTTP é um problema para redes ZigBEE, já que estas redes que possuem uma restrição de 128 bytes. O protocolo TCP precisa transmitir mensagens adicionais para manter uma conexão, outra característica que não é interessante para RSSF.

Um protocolo leve como CoAP pode tornar viável a criação de aplicações web em redes de sensores sem fio por um baixo custo. Neste trabalho é proposto uma infraestrutura de comunicação entre redes de sensores sem fio e a Internet, utilizando protocolos leves entre os nós sensores e um gateway GPRS para áreas sem acesso à WIFI, aproveitando a vasta abrangência da tecnologia de telefonia. Com a utilização do CoAP é esperado uma redução de consumo de energia e memória, em relação a outros protocolos de aplicação existentes.

Em lugares aonde não existe o acesso a rede cabeada ou sem fio, como lugares afastados, na área rural, por exemplo a distribuição da informação para Internet será feita através de um gateway.

O gateway será composto por um EposMoteII e um módulo GPRS

ZigBEE/GPRS, responsável por fazer a ponte entre a rede de sensores e a Internet. Atualmente o padrão GPRS oferece a maior cobertura dentre as tecnologias de transmissão de telefonia no Brasil, atingindo cerca de 5477 municípios.(??)

1.3 METODOLOGIA

Será feito um levantamento dos componentes de software e hardware necessários para o desenvolvimento do gateway 802.15.4/GPRS. Neste caso utilizando o mote EPOSMote II e um módulo GPRS, que será desenvolvido em paralelo a implementação do protocolo de aplicação CoAP no sistema operacional EPOS.

Durante o desenvolvimento do protocolo testes serão executados para verificar o correto comportamento e diminuir a depuração em hardware, que geralmente leva mais tempo.{Citation Needed

Nos testes de integração do gateway, será utilizada uma placa de desenvolvimento em conjunto com um módulo M95 da Quectel disponibilizada pelo Laboratório. Os testes de envio de mensagens em diversos protocolos, inclusive testes com comandos proprietários adicionais do modem.

Para testes de integração, as aplicações serão executados na plataforma de sensores sem fio EPOS Mote II utilizando o EPOS com o CoAP desenvolvido.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

Avanços recentes nas tecnologias de sistemas eletrônicos, semicondutores, sensores, microcontroladores e rádios tornaram possível o desenvolvimento de redes de sensores de baixo custo e baixo consumo uma realidade.

Este capítulo apresenta uma visão geral sobre redes de sensores sem fio, arquitetura orientada a serviços e os protocolos de aplicação existentes.

2.1 REDES DE SENSORES SEM FIO

Redes de sensores sem fio são utilizados para capturar, processar e comunicar dados captados do ambiente. Geralmente tais redes possuem centenas ou milhares de sensores e possuem as seguintes características: pouca memória, pouco alcance do rádio, baixa capacidade de processamento e bateria, e custo reduzido.

Um nó pertencente a esta rede geralmente é um dispositivo especificamente desenvolvido para um propósito, que possui poucos recursos computacionais e energéticos e se comunicam entre seus semelhantes, como apresentado na figura 2.1.

A conservação de energia é um dos objetivos das redes de sensores sem fio, pois não estão ligados diretamente a fonte de energia. Deve-se minimizar o consumo em todos os níveis do sistema, da aplicação até o meio físico, iniciando com o projeto de rádio. (Yick, Mukherjee, Ghosal, 2008)

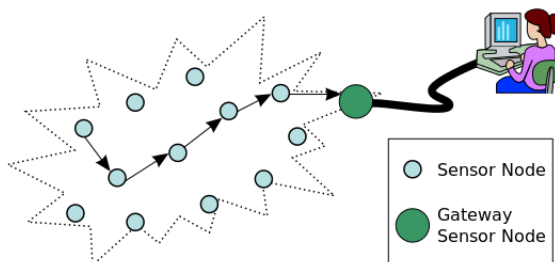


Figura 1 – Overview de uma rede de sensores sem fio

2.2 ARQUITETURA ORIENTADA A SERVIÇOS

Arquitetura orientada a serviços é uma forma de organizar infraestrutura e aplicações de software em um conjunto de serviços. Estes são oferecidos por prestadores de serviço, organizações que implementam os serviços, fornece descrição, suporte técnico e de negócio.

Clientes destes serviços podem ser outras soluções, aplicações, processos ou usuários. Para satisfazer estes requisitos um serviço deve:

- Um.
- Dois.

(SOA, 2003)

2.3 RESTFUL

Um serviço web que utiliza HTTP e os princípios REST possui recursos e ações genéricas bem definidas.(Fielding, 2000)

Para transfeência de dados utiliza-se formatos genéricos que enfatizam simplicidade e usabilidade pela internet, como XML e JSON.

Os Recursos são usam um identificador único e persistente, as URIs. A URIs possuem estruturas de diretórios, uma URI é uma árvore com ramos subordinados e superordinados conectando os nós. As operações suportas são métodos HTTP explícitos que não salvam estado das aplicações clientes e são idempotentes, são eles:

- GET: solicita ao webserver a representação de uma informação de um determinado recurso.
- POST: criar um recurso no webserver.
- PUT: mudar o estado de um recurso do webserver.
- DELETE: remover o recurso ou alterar para um estado vazio.

Uma abordagem utilizando SOAP RPC em HTTP não é interessante para uma aplicação de RSSF, já que a quantidade de informação a ser transmitida é consideravelmente maior. Além disso, a aplicação teria que conhecer lógica interna do serviço instrumentando o recurso utilizando chamadas de funções remotas. A Figura 2 exemplifica e demonstra a diferença de uma aplicação que faz uso de SOAP RPC e outra RESTful.(RESTful, 2008)

A desenvolver...

2.4 COAP

Um dos principais objetivos do CoAP é ser uma alternativa protocolo web genérico para redes com dispositivos com restrição de energia e memória.

As vantagens de utilizar um protocolo compatível com o HTTP são: a facilidade de integração e o reuso de aplicações. CoAP é um conjunto REST otimizado para M2M, com suporte a descoberta de recursos, multicast e troca de mensagens assíncronas com simplicidade e baixo overhead.

A IETF estabelece as condições mínimas para o desenvolvimento de um protocolo de aplicação compatível com HTTP, mas focado em aplicações aonde energia e memória são escassas. O protocolo CoAP foi projetado levando em consideração as restrições energéticas e altas taxas de falha na transmissão dos pacotes em RSSF.

A comunicação entre os pontos no CoAP é de forma assíncrona usando o UDP. A confiabilidade é um parâmetro opcional e funciona através de um mecanismo de retransmissão exponencial. Possui 4 tipos de mensagem: Confirmável, Não-Confirmável, Confirmação (ACK) e Reset. A Figura 3 mostra o formato do pacote.

2.4.1 Formato das mensagens

Uma mensagem CoAP deve caber num único pacote IP, para que seja transmitida numa camada de enlace limitada.

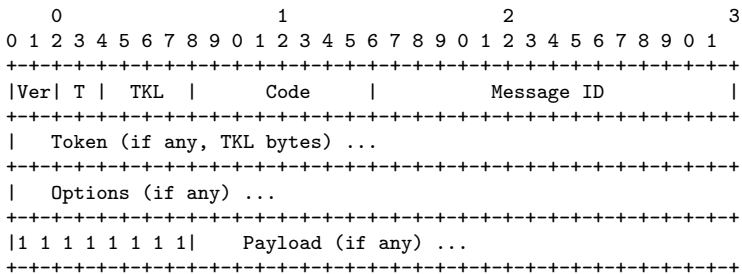


Figura 3: formato do pacote CoAP (Shelby, Hartke, Bormann, 2013)

Os campos do pacote CoAP são:

- Versão: a versão do CoAP, implementações devem utilizar este campo com o valor 1.

- Tipo: campo para definir o tipo da mensagem: Confirmável (0), Não-Confirmável (1), de Confirmação (2) ou Reset (3).
- Tamanho do Token: utilizado para controle de requisições e repostas. O tamanho do Token pode variar entre 0 e 8 bytes. Tamanhos entre 9 a 15 são reservados e não devem ser usados. É um campo sempre gerado pelo cliente CoAP.
- Código: separados em 3-bit mais significativos para classes e 5-bits menos significativos para detalhe. As classes podem indicar uma requisição (0), uma resposta de sucesso (2), e uma resposta de erro do cliente (4), ou uma resposta de erro do servidor (5), as outras classes são reservadas. Em um caso especial o código 0.00 indica uma mensagem vazia.
- ID da mensagem: usada para deduplicação de mensagens e confirmação ou reset de mensagens.

O ID da mensagem é gerado por quem envia a mensagem, no caso de uma mensagem confirmável ou reset, a resposta deve possuir o ID da mensagem enviada. A implementação da geração dos IDs está aberta, depende da aplicação que o CoAP será usado, porém é recomendado que o valor inicial seja randômico.

2.4.2 Transmissão de Mensagens

A transmissão de mensagens é controlada basicamente pelos parâmetros:

- ACK TIMEOUT: tempo que uma mensagem confirmável aguarda o ACK.
- ACK RANDOM FACTOR: fator de randomicidade para gerar os ACK TIMEOUTs subsequentes.
- MAX RETRANSMIT: contador para o número máximo de tentativas de retransmissão.
- NSTART: número limite de interações simultâneas mantidas por um servidor.
- Leisure: tempo que o servidor aguarda para responder uma requisição multicast, é calculada: $Leisure = S * G / R$. Onde S é o tamanho estimado da resposta, G é uma estimativa do tamanho do grupo e R é a taxa de transmissão.

- PROBING RATE: é a taxa média para transmissão de dados.

Estes parâmetros definem a temporização do sistema. Os valores padrões são mostrados na Tabela 1.

name	default value
ACK_TIMEOUT	2 seconds
ACK_RANDOM_FACTOR	1.5
MAX_RETRANSMIT	4
NSTART	1
DEFAULT_LEISURE	5 seconds
PROBING_RATE	1 Byte/second

Tabela 1

A retransmissão é controlada por um timeout e um contador. Quando este timeout é atingido e o contador é menor que valor máximo de retransmissão a mensagem é transmitida, o contador incrementado e timeout duplicado.

Uma falha na transmissão ocorre quando atingir o número máximo de tentativas ou receber uma mensagem de RESET. Quando receber um ACK a transmissão da mensagem confirmável é completa.

O servidor irá ignorar mensagens que chegam por multicast quando não puder responder nada de útil. Na situação aonde possuir uma informação suficientemente nova pode responder na própria mensagem de confirmação (ACK). Essa técnica é chamada de "Piggy-backed" um mecanismo de transmissão para mensagens confirmadas, o cenário é ilustrado na Figura 4.(Shelby, Hartke, Bormann, 2013)

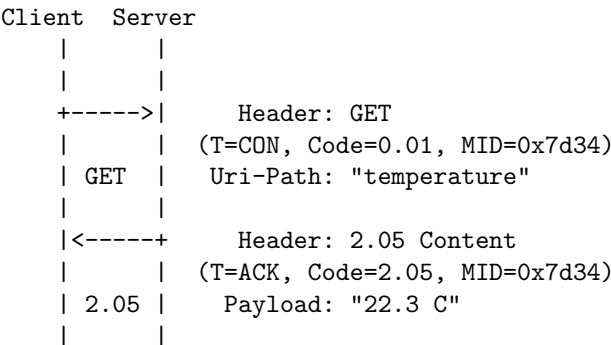


Figura 4

2.4.3 Camada de Reposta e Requisição

Uma requisição é inicializada ao preencher o campo code no cabeçalho do CoAP. Possuem as mesmas propriedades de idempotência e only retrieved das requisições HTTP.

O modelo de requisição e resposta usa um contador de timeouts. E a retransmissão das mensagens é definida por uma função que varia de acordo com o número de tentativas.

2.4.4 Recursos

A descoberta de recursos é feita quando um servidor recebe uma requisição GET para o recurso `/well-know/core`. O servidor CoAP deve responder no formato CORE link Format.(Shelby, 2012) E a descoberta de serviços no protocolo CoAP é feita através de socket Multicast. Os recursos são identificados por uma URI, e os métodos são implementados de forma similar ao HTTP.

A desenvolver...

2.5 EPOS

O EPOS é um sistema operacional multithread com suporte a preempção, foi desenvolvido em C++ que faz uso intenso de programação orientada a aspectos utilizando templates.

Possui abstrações para entidades temporais como relógio, alarme e cronômetro, biblioteca com estruturas de dados e sequenciadores. Permitindo o uso de ferramentas para geração automatizada de abstrações de sistemas. A portabilidade é atingida utilizando entidades chamados de Mediadores de Hardware que fornecem interfaces simples para acesso as funções específicas de arquitetura. Estas interfaces são utilizadas por entidades abstratas como alarmes e threads periódicas. A figura 5 mostra uma visão abstrata da arquitetura do EPOS.

Foi projetado utilizando ADESD, Application Driven Embedded System Design, um método para projeto de sistemas embarcados orientados à aplicação. Esta metodologia guia o desenvolvimento paralelo de hardware e software além de manter portabilidade. O EPOS possui porte para as seguintes arquiteturas: MIPS, IA32, PowerPC, H8, Sparc, AVR e ARM. (EPOS, 1999)

Utiliza um sistema de construção baseado em makefiles e shell scripts.

2.6 TRABALHOS RELACIONADOS

2.6.1 Contiki

O Contiki é um sistema operacional criado por Adam Dunkels em 2000, escrito em C, de código aberto para sistemas com restrição de recursos comunicam-se numa rede. Foi desenvolvido para ser um sistema operacional para Internet das coisas. Possui uma camada de abstração RESTful para web services chamada Erbium, que implementa o protocolo CoAP.

Cada processo no Contiki possui bloco de controle, que contém informações de tempo de execução do processo e uma referência para uma protothread, na qual o código é armazenado na ROM.

Protothread é uma combinação entre eventos e threads, possuem comportamentos de bloqueio e espera, que permite o intersequenciamento dos eventos, gerando um baixo overhead de memória por não necessitar de salvamento de contexto.

Cada protothread consome 2 bytes de memória, que são utilizados para armazenar a continuidade local, uma referencia utilizada em um pulo condicional durante a execução da thread. É um método similar ao mecanismo de Duffy e Co-rotina em C. (??)

O transceiver sem fio é um dos componentes que mais consome energia quando ligado escutando o ambiente, assim uma das estratégias utilizadas é manter o mínimo de tempo possível ligado, mas o suficiente para manter a troca de mensagens na rede. O Contiki propõe uma estratégia de ciclos de trabalho que consegue manter um nó comunicável em uma rede, porém com seus rádios desligados em aproximadamente 99% do tempo.

2.6.2 LibCoap

LibCoap é uma biblioteca implementada em C do protocolo CoAP. Possui 292K de tamanho compilada estaticamente em sua versão 4.0.1.

2.6.3 TinyOS

O TinyOS é um sistema operacional projetado para sistemas embarcados com comunicação sem fio e restrições energéticas. Foi desenvolvido em nesC, uma linguagem código aberto que é uma extensão do C. É um sistema operacional baseado em eventos desenvolvido para redes de sensores

que possuem recursos limitados. Possui uma implementação do CoAP baseada na libCoAP.

3 DESENVOLVIMENTO

Este trabalho propõe a implementação de uma biblioteca que utiliza a camada UDP do EPOS para dar suporte ao protocolo CoAP. O trabalho também consiste na implementação de uma aplicação para gateway GPRS/-Zigbee utilizando o EPOS e um componente de hardware que será acoplado ao EposMoteII.

Foram realizados diversos estudos durante o desenvolvimento do protocolo e testes para validação do módulo GPRS, e durante o levantamento de requisitos para portar a libcoap para o EPOS, e EPOSMoteII. Levantar requisitos libcoap no EPOS, requisitos do HW.

O desenvolvimento da aplicação no EPOS que será responsável pelo roteamento de mensagens para Internet utiliza a tecnologia GPRS, provida por um módulo GSM/GPRS da Quectel o M95.

Porte da biblioteca para o EPOS. Utilizando testes para validar o funcionamento entre diferentes arquiteturas e compiladores. A execução dos testes foi feita no Qemu.

Implementação do CoAP: mecanismos de retransmissão, requisição e resposta. Envio de mensagens confirmáveis e não confirmáveis

3.1 ANÁLISE DE REQUISITOS

Infraestrutura flexível para a construção de aplicações embarcadas em modelo de webservices utilizando redes de sensores sem fio.

3.1.1 Requisitos Funcionais

Coletar informação do ambiente através de sensores e transmiti-las através da Internet. Fácil integração com a Internet mesmo em locais sem rede WIFI.

As principais funções deste gateway são receber os dados da rede de sensores e encaminhá-las para um servidor remoto que armazenará essas informações e exibirá de forma conveniente para o usuário final. As funções da aplicação do gateway são:

1. Configuração, envia e recebimentode SMS;
2. Configuração contexto PDP, Configuração GPRS;
3. Configuração TCP/IP e manutenção de conexão TCP/IP.

3.1.2 Requisitos Não Funcionais

Extensível: Podendo ser reutilizada em diversas arquiteturas. Padronização na comunicação para facilitar a interconexão dos sistemas. Eficiente em:

- Energia: consumir pouca energia para longa durabilidade com bateria.
- Valor: utilizar uma infraestrutura de hardware simples para realizar as tarefas.

3.2 IMPLEMENTAÇÃO

3.3 TESTES

3.3.1 Testes na placa de desenvolvimento do módulo GPRS

Os testes feitos foram: Enviar e recebimento de mensagens; criar socket TCP, enviar e receber mensagem via socket, fazer requisição HTTP, foi possível utilizando os comandos proprietários do modem.

4 AVALIAÇÃO

4.1 ANÁLISE FUNCIONAL

4.1.1 Limitações Funcionais

A falta de uma implementação segura, utilizando os padrões DTLS.

4.2 ANÁLISE ESTRUTURAL

A biblioteca utilizada para montar o pacote CoAP foi:

`https://github.com/staropram/cantcoap.git`

Na qual enviei algumas correções e testes para facilitar a verificação da execução correta dos algoritmos internos durante mudanças no código. As alterações podem ser visualizadas aqui:

`https://github.com/staropram/cantcoap/commits?author=rafaeldelucena`.

Para o funcionamento desta biblioteca no EPOS, e para utilizar uma MTU limitada a 128 bytes utilizo um buffer com um valor máximo e armazeno os dados do pacote no buffer. Foi necessário alterar os tipos das variáveis para se aderirem ao EPOS.

O desenvolvimento de um mecanismo de retransmissão de mensagens não-confirmadas utilizando uma lista ordenada. Mecanismo de requisição e resposta, as requisições pendentes foram armazenadas num Hash com a chave sendo o token gerado pelo cliente.

Para validar o comportamento utilizei alguns testes da própria biblioteca CoAP portados para o EPOS. Foi necessário implementar a função assert.

4.3 ANÁLISE DE DESEMPENHO

O tempo de execução das principais funções foi medido. Abaixo uma tabela comparativa com as diversas arquiteturas e operações entre as principais soluções livres.

Operating System	CoAP	Size	Memory
EPOS	CantCoap		
Contiki	Erbium		
Contiki	libcoap		
TinyOS	libcoap		

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A desenvolver...

REFERÊNCIAS

Perrey, Randall and Lycett, Mark. *Service-oriented architecture*. 2003. p 116-119.

Richardson, Leonard and Ruby, Sam. *RESTful web services*. 2008.

Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal. *Wireless Sensor Network survey*. 2008.

Antônio Augusto Fröhlich, Wolfgang Schröer-Preikschat. *Embedded Parallel Operating System*. 1999. <<https://epos.lisha.ufsc.br/>>.

Roy Thomas Fielding. *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*. 2000.
<<http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>>.

Z. Shelby, K. Hartke, C. Bormann *Constrained Application Protocol (CoAP)*. 2013. <<http://www.ietf.org/id/draft-ietf-core-coap-18.txt>>.

Z. Shelby . *Constrained RESTful Environments (CoRE) Link Format*. 2012.
<<http://tools.ietf.org/rfc/rfc6690.txt>>.

Koojana Kuladinithi, Olaf Bergmann, Thomas Pötsch, Markus Becker, Carmelita Görg *Implementation of CoAP and its Application in Transport Logistics* 2011