

Embedded System for Detecting and Georeferencing Holes in Roads

P. S. Borges, T. O. C. Carvalho, T. Pires, M. Torres, F. M. Milian

Abstract— This work describes the development of an embedded system to be installed on automotive vehicles, which is able to identify the geographic location of holes in the road. An accelerometer and a GPS receptor connected to a microcontroller are used to undertake such a task. A computer receives the data collected by the system and stores it for later analysis on road condition.

Keywords— Embedded System, Microcontroller, Hardware, Hole, Accelerometer, GPS.

I. INTRODUÇÃO

É FATO que grande parte das estradas brasileiras está em péssimo estado de conservação e possuem um número absurdo de buracos. Os motoristas precisam ter atenção redobrada ao conduzir os veículos, pois algumas vias são tão cheias de buracos que é preciso "escolher" qual buraco passar e essa situação acaba aumentando o custo de manutenção dos veículos.

As empresas responsáveis pela manutenção das estradas realizam operações tapa buracos com uma frequência irregular e sem nenhum critério de escolha sobre onde ou quando as obras devem ser realizadas. É comum buracos aparecerem sempre nos mesmos lugares ou existir buracos que nunca são consertados.

Não existem dados estatísticos da frequência com que buracos aparecem na mesma área e nem dados mais gerais de quanto tempo uma estrada continua em boas condições após uma operação de reparo.

Este trabalho visa desenvolver um sistema embarcado, a ser instalado em veículos, que tenha a capacidade de identificar quando e onde o carro passou por um buraco. A idéia é monitorar em tempo real o estado de uma determinada rodovia.

Para os responsáveis pela manutenção das rodovias seria um diferencial ter dados suficientes para planejar essa manutenção usando critérios mais precisos e consequentemente reduzindo custos.

Para os usuários dos automóveis, será uma vantagem poder escolher qual rota utilizar levando em consideração o estado

de conservação da rodovia. Além de terem o prazer de dirigir mais tranquilamente, também podem reduzir possíveis custos de manutenção causados pelos buracos.

Na próxima seção apresentam-se os trabalhos relacionados com o nosso trabalho. Na seção III consta a descrição do protótipo inicial, materiais e métodos utilizados. A seção IV mostra os resultados e discussões. Na seção V são apresentadas as conclusões obtidas no desenvolvimento do projeto.

II. TRABALHOS RELACIONADOS

O sistema pesquisado em [1] e [2] descreve uma maneira de fazer um levantamento detalhado de buracos, trincas e demais irregularidades em rodovias através de um projetor de laser, acoplado a um automóvel.

A pesquisa realizada em [3] mostra uma iniciativa da prefeitura de Boston, nos Estados Unidos, na identificação e reparo de buracos nas ruas da cidade. A idéia conta com a colaboração de cidadãos voluntários, donos de smartphones com acelerômetro e que instalam e usam o sistema Citizen Connect em seus aparelhos. Esse sistema é alimentado pelos voluntários que identificam, dentre outras coisas, rachaduras e falhas no asfalto.

Nos sistemas pesquisados, os dados são coletados esporadicamente e não têm como foco principal a tarefa de detectar buracos e suas respectivas localizações. Contudo, as pesquisas realizadas serviram como base para definição dos materiais, métodos e para aquisição do conhecimento necessário sobre como desenvolver o protótipo.

III. PROTÓTIPO

Para realizar as idéias anteriormente descritas, foi idealizado um protótipo inicial com um módulo bluetooth, um módulo acelerômetro e um módulo GPS (Sistema de Posicionamento Global).

Os três módulos estariam embarcados no mesmo circuito e o módulo bluetooth é usado apenas para o envio dos dados coletados para um servidor remoto. A especificação formal dos protocolos da tecnologia bluetooth está descrita em [4]. O módulo GPS é usado para determinar a coordenada geográfica do buraco assim que detectado.

O acelerômetro foi escolhido para a detecção de buracos pela facilidade de se encontrar no mercado, com custos relativamente baixos e por poder ser encontrado em módulos prontos para serem acoplados em circuitos.

É importante salientar que, para uma melhor detecção dos buracos, seria necessário que houvesse quatro acelerômetros, um em cada amortecedor do carro e que a lógica do algoritmo

P. dos S. Borges, INTELLISYS INFORMÁTICA LTDA. 03.850.063/0001-25 Itabuna – BA, peuborg@yahoo.com.br

T. de O. C. Carvalho, 2SENAI unidade CIMATEC 03.795.071/0001-16 Ilhéus – BA, thadeucaastro2.0@gmail.com

T. Pires, PMCC UFBA/UNIFACS/UEFS. 15.180.714/0001-04 Salvador – BA, teodoropires@gmail.com

M. Torres, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-Ba, mxtd2000@yahoo.com.br

F. M. Milian, Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus-Ba, felix_mas_milian@yahoo.com

que identifica os buracos leve-se em conta o valor lido, simultaneamente, pelos quatro sensores. A Fig. 1 mostra uma sugestão de onde os acelerômetros deveriam estar posicionados.



Figura 1. Posicionamento dos acelerômetros nos amortecedores de um veículo.

No entanto, com o objetivo de simplificar a implementação de um protótipo que de fato funcionasse, optou-se por fazer algumas adaptações em relação ao protótipo ideal.

Para experimentarmos reuso e inovação na utilização de hardware convencional, no desenvolvimento do protótipo foi decidido usar o acelerômetro de três eixos presente no Wii Remote (controle remoto sem fio do videogame Nintendo Wii), como sensor de variações de superfície da estrada e um aparelho celular Sony Ericsson Z780i como GPS. Ambos dão suporte à transferência de dados através da comunicação bluetooth.

O protótipo realizado foi desenvolvido para funcionar em um carro de controle remoto de pequenas proporções em relação a um carro real. Por esse motivo usou-se apenas um acelerômetro, o do Wii Remote, acessado via bluetooth.

Nesse contexto o módulo bluetooth passou a ter mais funções. Além de servir para o envio de dados para o servidor, ele também passou a fazer a comunicação entre os componentes.

A. Materiais

Para o desenvolvimento do protótipo foi usada uma placa do Kit de desenvolvimento PIC16F da empresa Cerne, com um microcontrolador PIC16F876A (Fig. 2). Essa placa dispõe de diversos periféricos tais como: display LCD, botões, LEDs e comunicação bluetooth. Mais informações sobre o kit de desenvolvimento estão disponíveis em [5], [6] e [7].



Figura 2. Placa Cerne Bluetooth.

No trabalho foi utilizada a linguagem de programação C para Microcontrolador com o compilador CCS C Compiler Versão 3.25. Mais informações sobre o compilador e a linguagem C para Microcontrolador são encontradas em [8].

Para realizar a programação do microcontrolador foi utilizado o gravador WinPIC8000. Esse software vem embutido no CD de treinamento do kit e a gravação dos programas foi feita através de uma interface serial RS232C.

Foi utilizado o módulo Bluetooth KCWirefree KC-21, que é um CI (circuito integrado) para comunicação sem fio que utiliza a especificação RFCOMM do protocolo Bluetooth. Esse módulo Bluetooth tem o objetivo de habilitar a capacidade do microcontrolador a realizar transferência de dados utilizando o protocolo Bluetooth.

Para o controle do módulo Bluetooth KCWirefree KC-21 foram utilizados comandos (Hayes) AT. Esses comandos possibilitam ao módulo interagir com outros dispositivos Bluetooth usando RFCOMM que emula uma interface serial. É possível observar na Fig. 3, o esquema de comunicação entre o microcontrolador PIC com módulo bluetooth e outro dispositivo bluetooth.

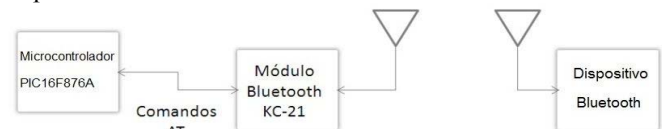


Figura 3. Comunicação da Plataforma PIC com Módulo KC-21 e outro dispositivo bluetooth.

B. Métodos

O hardware é composto pela placa com microcontrolador PIC16F876A e módulo Bluetooth KCWirefree KC-21, Wii Remote e o aparelho celular. A Fig. 4 demonstra uma representação simplificada da comunicação realizada entre os componentes do sistema.

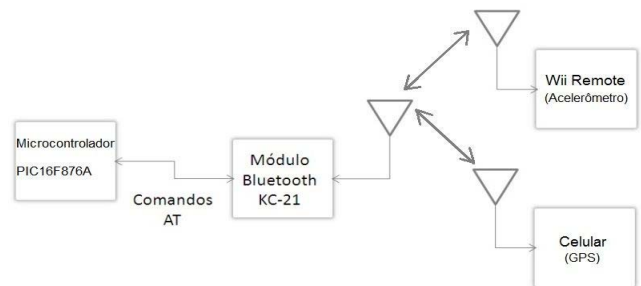


Figura 4. Comunicação entre os componentes do sistema.

O Wii Remote (Fig. 5) é o controle principal do console da Nintendo, o Wii. Ele é um controle com dimensões 148 mm de comprimento, 36.2mm de largura e 30.8mm de altura que capta os movimentos através do CI ADXL330 (Acelerômetro, compacto, baixo consumo, 3-Eixos, $\pm 3g$), que mede a aceleração nos eixos X, Y e Z de acordo com as especificações em [9].



Figura 5. Visão frontal e traseira do Wii Remote.

Foi criado um aplicativo na linguagem Java, o qual possui as especificações de implementação em [10] e [11]. Esse aplicativo foi instalado no aparelho celular (Fig. 6), para receber solicitações via bluetooth, fazer acesso ao GPS e retornar a coordenada GPS para o solicitante.



Figura 6. Celular Sony Ericsson Z780i.

O programa no microcontrolador funciona da seguinte maneira: O Wii Remote transmite os valores dos três eixos X, Y, Z do acelerômetro, de forma ininterrupta. Levando em consideração um veículo trafegando em uma via plana, ao cair em um buraco somente há variação na aceleração do eixo Z (eixo vertical). Portanto, para esse protótipo, somente o eixo Z é utilizado.

Sempre que o microcontrolador perceber uma variação correspondente à de um buraco, fará uma solicitação da coordenada GPS ao celular. Em seguida, o microcontrolador salva, temporariamente, essa informação na memória.

Na programação do microcontrolador também há uma

rotina de sincronização que transfere via bluetooth os dados armazenados na memória da placa para um computador central para serem definitivamente armazenados.

Como saída do sistema embarcado é produzida uma lista de coordenadas dos buracos. Como apresentado na Fig. 7, cada linha dessa lista corresponde a um buraco detectado.

```
12789763459786345201103232132
12893847562987643201103232133
12673647729838479201103232133
...
12673647729838479201103232133
```

Figura 7. Representação da lista de buracos detectados pelo sistema.

Em cada linha, os três primeiros caracteres representam o valor da aceleração no eixo Z no momento que o buraco foi identificado. Os quatorze caracteres seguintes representam a latitude e a longitude, respectivamente, com sete caracteres para cada. Os 12 caracteres finais representam a data e hora em que o buraco foi detectado.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a etapa de montagem do hardware e do desenvolvimento dos programas dos dispositivos, foram iniciados testes com o carro de controle remoto em movimento, com o objetivo de validar do sistema embarcado como um todo.

Como todos os componentes do hardware possuem conectividade bluetooth, não há nenhuma fiação no protótipo, conforme mostra Fig. 8.



Figura 8. Representação do protótipo.

Inicialmente foi testada a comunicação bluetooth entre o microcontrolador e o Wii Remote. Nessa fase foram encontradas algumas dificuldades. O Wii Remote só opera sobre o protocolo L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) como descrito em (WiiBrew), porém esse protocolo não é suportado pelo módulo bluetooth KC-21 e por isso foi necessário usar outro dispositivo como “ponte” entre o controle e a placa microcontroladora.

Foi feita uma tentativa de usar o celular como solução para esse problema. No entanto, o celular faz a comunicação bluetooth com outros dispositivos através de uma faixa limitada de portas, que vai de 4097 até 65536 (em hexadecimal, de 0x1001 a 0xFFFF). Isso gera uma incompatibilidade na comunicação entre o celular e o Wii Remote, pois o controle usa apenas as portas 17 e 19 (em hexadecimal, de 0x11 e 0x13) na comunicação bluetooth.

Devido a isso, foi usado um notebook com sistema operacional Linux com Ubuntu 10.10 para se conectar ao Wii Remote para receber os dados dos acelerômetros. Abaixo a URL de conexão com o Wii Remote:

```
"bt12cap://" + WIIMOTE_MAC + ":" + PSM +
";authenticate=false;encrypt=false;master=false".
```

WIIMOTE_MAC é o endereço MAC do bluetooth do Wii Remote e PSM (Protocol Service Multiplexor) é similar a uma porta do protocolo TCP. PSM com valor decimal 17 é usado para enviar e com valor 19 para receber os dados para o Wii Remote.

O notebook envia os comandos para configurar o Wii Remote em um modo de relatório. Nesse modo, os dados dos acelerômetros são enviados sempre que houver uma alteração na aceleração. Esses dados são passados em tempo real do controle para o notebook e do notebook para o celular. No celular, haverá uma thread que ficará recebendo constantemente essa informação.

A Tabela 1 lista um comparativo entre o valor da aceleração no eixo Z, lido no Wii Remote, e o valor da força gravitacional.

Tabela 1.
REPRESENTAÇÃO DA ACELERAÇÃO

Medida	Aceleração	Força Gravitacional
1	0	-3g
2	127	0
3	255	+3g

O valor da aceleração varia entre 0 e 255, sendo que 127 representa aproximadamente aceleração zero e 255 representa +3g, sendo que 1g é a força da gravidade na Terra (9.8m/s).

Cair num buraco significa cair em queda livre por um determinado tempo, de acordo com a profundidade do buraco.

A lógica usada no algoritmo de detecção de buracos, no programa gravado no microcontrolador, foi a seguinte: se durante algum tempo for detectada uma variação na aceleração de aproximadamente 1g seguido de uma desaceleração de aproximadamente -1g, isso será aceito como sendo um buraco (Fig. 9).

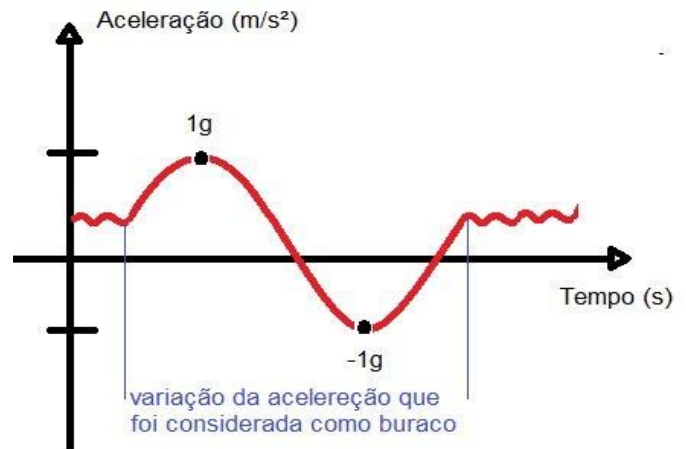


Figura 9. Gráfico Aceleração X Tempo.

Essa solução foi baseada no caso mais simples, que é considerar a queda em um buraco como queda livre, ou seja, 1g. Consequentemente, durante o retorno ao nível normal da via, ocorre uma aceleração igual ao momento da queda, porém em sentido contrário. Nos testes realizados com o protótipo essa solução se mostrou satisfatória em detectar os buracos.

Poderia ter sido usado outra lógica, que combinasse a avaliação de dois ou mais valores de aceleração do eixo Z, caso houvesse mais de um sensor conectado ao sistema.

Posteriormente, foi feita uma tentativa, bem sucedida, de comunicação bluetooth entre o microcontrolador e o aparelho celular. Através do módulo KC-21, o microcontrolador se conecta ao celular para receber as informações do GPS e do acelerômetro. Os dados transmitidos são enviados em formato de texto com valores representando as coordenadas do GPS e as medidas da aceleração.

Foi criada, também na linguagem J2ME, a aplicação do celular que se comunica com o microcontrolador e faz acesso ao GPS. O aplicativo liga o GPS e inicia uma thread para pegar as coordenadas a cada 10 segundos.

Neste momento, o aplicativo também inicia outra thread que aguarda uma solicitação de conexão da placa microcontroladora. A placa se conecta ao celular usando comandos AT SPPConnect.

Em seguida, foi escrito e gravado no microcontrolador o programa que conecta no celular, recebe e trata as informações do acelerômetro e do GPS. Nesse programa, sempre que um buraco for detectado, alguns LEDs da placa piscam e as informações de localização do buraco, data e hora aparecem no Display LCD e são gravadas na memória.

Como a memória flash do microcontrolador PIC16F876A se resume a 8k, o programa gravado no microcontrolador foi adaptado para enviar em tempo real os dados para o notebook, onde são armazenados.

Foi desenvolvido um aplicativo desktop com o objetivo de fazer uma demonstração gráfica dos dados coletados pelo sistema embarcado. Esse aplicativo lê o arquivo com a lista dos buracos detectados e faz a plotagem dos pontos em um mapa do Google Maps (Fig. 10), serviço de mapas e rotas,

com fotos de satélite, fornecido pelo Google e que funciona direto pela internet.

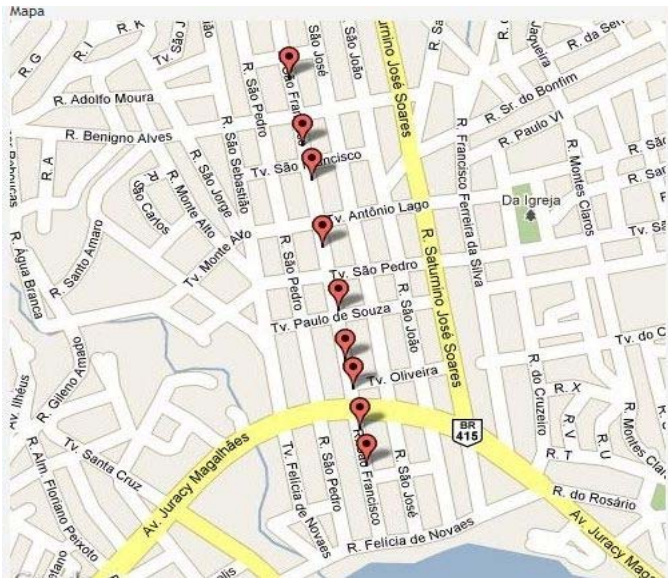


Figura 10. Representação de alguns buracos detectados ao longo de uma rua.

V. CONCLUSÕES

Este projeto mostrou a viabilidade da construção de um sistema embarcado de detecção de buracos usando acelerômetro e GPS, o qual pode servir como base para o desenvolvimento de um sistema de produção.

Esse produto poderia ser utilizado por empresas responsáveis em dar manutenção nas estradas e rodovias ou por setores do governo, com a finalidade de melhorar os critérios de reparo e reduzir os custos de manutenção das vias.

O levantamento dos dados seria feito através dos veículos que compõem a frota de uma prefeitura, por exemplo. Esses veículos detectariam buracos, percorrendo seus trajetos rotineiros.

Ao final de um determinado período (diário, semanal, etc.) os dados de cada veículo seriam transferidos para um repositório. Esses dados serviriam de base para que os responsáveis tomem decisões sobre onde e quando devem ser feitas obras de reparo, manutenção e pavimentação das ruas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Ministério de Ciência e Tecnologia e ao Conselho Nacional de Pesquisa pelo apoio ao projeto através do Edital MCT/CNPq nº 11 /2007 - Extensão Inovadora 2007.

Agradecemos ao Dr. César Alberto Bravo Pariente pela sua ajuda com a editoração final do artigo.

REFERÊNCIAS

- [1] Cartovias Engenharia Cartográfica. Acesso em: julho de 2011: <http://www.cartovias.com.br>.
- [2] Inovação Tecnológica. Acesso em: julho de 2011: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasileiros-desenvolvem-detector-buracos-laser>
- [3] Citizen Connect. Acesso em: julho de 2011: <http://www.cityofboston.gov/doi/apps/citizensconnect.asp>.
- [4] Bluetooth Specification. Acesso em: março de 2011: <https://www.bluetooth.org/Technical/Specifications/adopted.htm>.
- [5] KC-21. Acesso em: março de 2011: http://kcwirefree.com/docs/KC21_Datasheet.pdf.
- [6] Kit Didático Cerne Bluetooth. Acesso em: março de 2011: <http://www.cerne-tec.com.br/detalhescerneblue.htm>.
- [7] PIC 16F876A. Acesso em: março de 2011: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/P/I/C/1/PIC16F876A_TI_ML.shtml.
- [8] CCS Inc. Home. Acesso em: março de 2011: <http://www.ccsinfo.com>.
- [9] WiiBrew. Home. Acesso em: fevereiro de 2011: <http://www.wiibrew.org/wiki/wiimote>.
- [10] JavaTM APIs for Bluetooth. Acesso em: março de 2011: <http://www.jcp.org/en/jsr/detail?id=82>.
- [11] KLINGSHEIM, André N. J2ME Bluetooth Programming. Acesso em: novembro de 2011: <http://www.ub.uib.no/elpub/2004/h/413009/masteroppgave.pdf>.



P. d. S. Borges Nasceu em Sorocaba, São Paulo, Brasil, aos 23 de Dezembro de 1984. Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Estadual de Santa Cruz em 2008, pós-graduou-se em Sistemas Embarcados para Aquisição de dados Remotos na Universidade Estadual de Santa Cruz em 2011. Seus interesses estão relacionados com desenvolvimento de sistemas embarcados, sistemas web e sistemas desktop.



T. d. O. C. Carvalho Nasceu em Itabuna, Bahia, Brasil, aos 30 de Outubro de 1984. Graduou-se em Ciência da Computação na Universidade Estadual de Santa Cruz em 2008, especializando em Aquisição de Dados Remotos para Sistemas Embarcados na Universidade Estadual de Santa Cruz ingresso em 2009. Seus interesses estão relacionados com desenvolvimento de aplicações web, desenvolvimento em dispositivos portáteis e business intelligence.



T. Pires Nasceu em Itabuna Bahia aos 14 de Abril de 1963. Graduou-se em Filosofia na Universidade Estadual de Santa Cruz em 2001, Especialista em Aplicações Pedagógicas de Computadores na Universidade Estadual de Santa Cruz em 2003, Mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente na Universidade Estadual de Santa Cruz em 2007 e Doutorando em Ciência da Computação na Universidade Federal da Bahia. Vice-coordenador do Programa de Pós-Graduação em Sistemas Embarcados. Seus interesses estão relacionados com sistemas embarcados, redes sem fio e redes veiculares



M. Torres Nasceu em Cali, Colômbia, aos 18 de Abril de 1968. Graduou-se em Engenharia Elétrica na Universidad Del Valle em 1991, Mestre em Sistemas Eletrônicos na Universidade de São Paulo em 1994 e Doutor em Sistemas Eletrônicos na Universidade de São Paulo em 1999. Trabalha no Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, onde é professora desde 2004 e coordena o Programa de Pós-Graduação em Sistemas Embarcados. Seus interesses estão relacionados com sistemas embarcados, computação de alto desempenho e bioinformática.



F. M. Milian, nasceu em Havana, Cuba, o 23 de novembro de 1977. Graduou-se em Licenciado em Física Nuclear no Instituto Superior de Ciências y Tecnología Nucleares (ISCTN) Cuba em 2001, Mestre em Física Nuclear com ênfase em Instrumentação Nuclear na mesma instituição em 2002, e Doutor em Física na Universidade de São Paulo em 2006. Trabalha no Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Bahia, onde é professor desde 2008. Seus interesses estão relacionados com sistemas embarcados e simulação computacional de fenômenos físicos.