

Desenvolvimento de Tecnologia Assistiva para Uso de Ônibus por Pessoas Cegas: da Prototipação à Capacitação

Hilson G. V. de Andrade¹, David de M. Borges¹, Leandro H. C. Bernardes¹,
João Lucas A. de Albuquerque¹, Luis Marcel G. A. de Almeida¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)
Av. Prof. Luís Freire, 500 – Cid. Universitária – 50.740-540 – Recife – PE – Brasil

hilsonvilar@recife.ifpe.edu.br, {dmb, lhcb, jlaa, lmga}@a.recife.ifpe.edu.br

Abstract. *This work presents a bus detection system based on Bluetooth low energy (BLE) technology that aims to facilitate the movement of blind people in large urban centers. The proposed system is composed of two subsystems: a hardware embedded in buses and another installed on the user's mobile device. From the device on the bus, BLE beacons containing the bus's route and acceleration information are sent and read by the application running on the mobile device. Through this information and using the machine learning algorithm, the application is able to identify the approach and arrival of the bus, guiding the user. A complete system prototype was built and tested to validate the proposed system, where a hit rate of 91.5% was obtained, indicating the feasibility of the proposal, whose technology was also disclosed from the offer of Extension courses by IFPE.*

1. Introdução

Embora presente na Declaração Universal dos Direitos Humanos, o direito da livre locomoção não é garantido a todos, especialmente para as pessoas cegas. Este público, estimado globalmente em 285 milhões de pessoas [Pascolini and Mariotti 2012], encontra uma grande barreira para uma locomoção autônoma, principalmente através do uso do transporte público, nos grandes centros urbanos. Diante desse cenário, o desenvolvimento de tecnologias assistivas voltadas a essa questão é fundamental.

Nesse contexto, este artigo apresenta um estudo de caso desenvolvido na Rede Federal de Educação Profissional, Científica e Tecnológica, que consiste em uma importante contribuição de pesquisa para atendimento dessa demanda, visto que o sistema proposto atende os requisitos de uma baixa custo de implantação e operação. Na Seção 2, são apresentados dois trabalhos com objetivos similares, entretanto com diferentes implementações na tecnologia de comunicação e necessidade de infraestrutura. Tais diferenças são apresentadas na Seção 3, onde é descrita a tecnologia de comunicação usada, bem como os componentes de *hardware* e *software* da proposta. Na Seção 4, são apresentados os detalhes construtivos do protótipo usado para a validação da solução, os resultados obtidos nos testes de campo e a formação ofertada, através de um curso de Extensão, para capacitação na tecnologia. Por fim, a Seção 5 apresenta as conclusões da pesquisa e os trabalhos futuros.

2. Trabalhos Relacionados

Diante da necessidade de métodos que auxiliem o uso do transporte coletivo para pessoas com perda parcial ou total da visão, pesquisas anteriores propõem sistemas capazes de

identificar a aproximação dos ônibus das estações de embarque e emitir alertas sonoros, possibilitando assim o uso desses ônibus por todas as pessoas.

Com base em um estudo anterior que apresentou os requisitos para a interligação de dispositivos de tecnologia assistiva [Gill 2003], foi proposto um Sistema de Notificação de Ônibus [Lim et al. 2008] utilizando uma comunicação através da tecnologia bluetooth entre o ônibus, o local de embarque/desembarque e o dispositivo móvel do usuário (cliente bluetooth). Para validar a proposta, foi desenvolvido um protótipo onde foi colocado um servidor no local de parada do ônibus, conectado através de um adaptador bluetooth com o dispositivo do usuário e um cartão dedicado para conectar com o ônibus, recebendo assim o sinal de todos os transportes que passam pelo local de embarque. Além da necessidade de estabelecer conexões entre os dispositivos dos usuários com o servidor, e do servidor com os ônibus, o que impõe limitações ao sistema, esta proposta exige a implantação de infraestrutura adicional nos locais de embarque, para acomodação do próprio servidor.

Considerando o conceito de utilização da comunicação sem fio de curto alcance para notificação de usuários de aproximação de ônibus, destaca-se outra abordagem baseada no uso de RFID [Kalbani et al. 2015]. Nesta pesquisa, foram propostos dois subsistemas (um no ônibus e outro na estação), conectados a um banco de dados, onde são inseridos os dados do usuário no momento da compra da passagem. Tanto a rodoviária, quanto o ônibus e os passageiros possuem uma etiqueta RFID e ela é utilizada na comunicação entre a estação e o ônibus, quando os dois trocam seus identificadores e verificam se o ônibus passará no ponto de ônibus em questão, bem como se houvesse usuários com necessidades especiais, para que o ônibus fosse anunciado pelo locutor.

Em ambos os sistemas descritos acima, além da necessidade de implantação de infraestrutura adicional nas estações de embarque, o que representa um aumento no custo de implantação e manutenção da solução, há também a necessidade de conexão a um servidor central ou banco de dados, para atualizar periodicamente a posição do mesmo, em relação ao usuário. No sistema proposto neste trabalho, a necessidade de infraestrutura adicional nos locais de embarque é substituída pela utilização de um aplicativo a ser implantado no smartphone do usuário, cuja interação com o dispositivo a ser implantado no ônibus (descrito na Seção 3.2) ocorrerá a partir da leitura de mensagens periódicas (*beacons*), ou seja, sem a necessidade de estabelecer conexão entre os dispositivos envolvidos. Além das informações do itinerário, a serem utilizadas pela aplicação do sistema para geração de mensagens sonoras, tais mensagens também serão utilizadas para determinar a distância do mesmo em relação ao usuário, com base no cálculo realizado conforme para RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) [Alawi 2011] e a aceleração do ônibus, conforme detalhado na Seção 4.

3. Sistema proposto

A arquitetura básica da solução proposta, cujo principal objetivo é permitir ao usuário, a partir de mensagens de voz, a identificação da aproximação, do itinerário e da parada no local de embarque do ônibus - ou qualquer outro meio de transporte coletivo terrestre - é composto por um dispositivo eletrônico a ser embutido em veículo e por um aplicativo a ser instalado no smartphone do usuário. Conforme descrito na seção anterior, a troca de informações entre o módulo embarcado no ônibus e o aplicativo instalado no aparelho celular é feita através da tecnologia de comunicação sem fio BLE (detalhado na Seção

3.1), sem o estabelecimento da conexão, ou seja, o aplicativo lê as mensagens periódicas enviadas e extrai as informações necessárias para o seu funcionamento.

A arquitetura do sistema proposto é mostrada na Figura 1. As áreas tracejadas delimitam o *hardware* a ser embarcado no veículo, mostrando as interfaces do mesmo com o sistema de energia e com o painel de exibição da rota do ônibus, onde será obtida a informação a ser anunciada pelos *beacons* transmitidos via BLE. À direita é detalhada a arquitetura do aplicativo desenvolvido para ser instalado no dispositivo móvel do usuário final, cujas funcionalidades são descritas na Seção 3.3. O sistema proposto busca atender os seguintes requisitos:

- O sistema deve gerar uma mensagem de orientação clara sobre a aproximação do ônibus (e parada) no local do embarque;
- O sistema deverá utilizar faixas de frequências não-licenciadas e reservadas para aplicações de fins industriais, científicas e médicas (ISM);
- O sistema não deverá ter restrições de números de usuários simultâneos;
- O sistema deverá ser acionado por mensagens de voz, retornando como saída mensagens também audíveis.

3.1. Tecnologia Bluetooth Low Energy

Dentre as diversas tecnologias sem fio de baixo consumo, como RFID, ZigBee e 6LoPan, o *Bluetooth Low Energy* (BLE) destaca-se por sua eficiência energética e facilidade de integração com dispositivos móveis. Sucessor do bluetooth clássico e também conhecido como bluetooth smart ou bluetooth 4.0, o BLE unifica as vantagens de baixo consumo de energia e a compatibilidade com *smartphone*, sendo por isso cada vez mais adotado. A facilidade de integração entre os "*beacons*" BLE e os *smartphones*, tem promovido diversos casos de uso, especialmente entre os aplicativos de IoT embarcados, exigindo menos esforços humanos para realizar qualquer tarefa [Atzori et al. 2010], encaixando-se perfeitamente em aplicativos voltados às tecnologias assistivas, como apresentado neste trabalho.

Nos últimos anos, envio de mensagens periódicas utilizando-se a tecnologia BLE tem sido largamente utilizado para inovações nos mais diversos segmentos [Jeon et al. 2018], tais como na localização e rastreamento internos (aplicadas a museus e centros de compra, entre outros) na ajuda a deficientes físicos, na economia de energia em escritórios e casas inteligentes. No protótipo utilizado para validação do sistema proposto - conforme descrito na Seção 4, o BLE foi utilizado não apenas para enviar beacons contendo o itinerário e o estado de repouso ou movimento do ônibus, mas também para determinar a distância do ônibus ao usuário, informação fundamental para o funcionamento do sistema. Para esta funcionalidade, foram utilizados dois algoritmos de localização específicos [Zhang et al. 2013] [Bertuletti et al. 2016], obtendo-se resultados bastante satisfatórios conforme será apresentado na Seção 4.3.

Dessa forma, a escolha da tecnologia BLE atendeu a todos os requisitos do sistema apresentado. No protótipo de validação foi usado o transmissor nrf52832, fabricado pela Nordic, conforme será detalhado na Seção 4.1.

3.2. Descrição do *hardware*

A principal função desse subsistema da solução, a ser implantado no ônibus, é a geração e envio dos beacons BLE, que serão lidos pelo aplicativo instalado no *smartphone* do

usuário. Conforme mostrado na Figura 2, o processo inicia-se com a definição da rota do veículo, que pode ser inserida pelo motorista através de uma interface específica para este fim, ou coletada diretamente do controlador do display do veículo, por exemplo, através de uma interface serial. A segunda informação enviada nos anúncios periódicos é a variação de velocidade (repouso ou movimento) do veículo, coletada através de um acelerômetro presente no módulo. Com essas informações é montada uma mensagem, dentro de uma variável com 16 bits, e enviada a uma frequência de 51,61 Hz, via BLE.

3.3. Descrição do aplicativo

Com a função de ler as mensagens enviadas pelo subsistema descrito na seção anterior e instalado no aparelho celular do usuário, com suporte para os sistemas operacionais IOS e Android, o aplicativo pode ser dividido em dois estágios:

- *Estágio Inicial*: Uma vez que o aplicativo é iniciado e a informação da rota de transporte desejada é recebida pelo usuário, convertida de voz para texto com o auxílio de uma API específica, o aplicativo ativa a comunicação BLE no estado de espera de requisições de outros dispositivos. Em seguida, ao receber o beacon, o aplicativo confirma a validade desse sinal e extrai os dados do sinalizador (RSSI + itinerário + aceleração), para o cálculo da distância, a ser detalhado na seção 4.2. Na Figura 3 o fluxograma do estágio inicial do aplicativo é exibido.
- *Estágio Final*: Como descrito na Figura 4, uma vez calculada a distância do ônibus, a partir das informações recebidas pelos beacons BLE e da utilização de algoritmos de aprendizado de máquina com técnica de *"fingerprinting"* detalhada na seção de implementação e testes, são geradas as mensagens "ônibus chegando quando o itinerário do ônibus detectado coincide com o trajeto do ônibus desejado (informado pelo usuário na fase anterior) e o mesmo está a uma distância superior a 12m e em movimento; e a mensagem "ônibus chegou", se a distância do ônibus for menor que 12m e ele estiver parado.

4. Implementação e testes

4.1. Protótipo do módulo do ônibus

Para validar a funcionalidade do sistema proposto, um protótipo foi construído e testado. Para tal, foi utilizado o kit de desenvolvimento PCA 10040, da Nordic. As principais características desse kit são:

- nRF52832 flash-based ANT/ANT+, solução Bluetooth Low Energy SoC;
- Botões, LEDs e interfaces I/O;
- Depurador de erros SEGGER J-Link OB.

4.2. Mensagens de alerta

Considerando o alto grau de variabilidade do parâmetro RSSI, devido a faixa de frequência usada pela tecnologia BLE, que opera na faixa de microondas (2,4 GHz), sendo portanto susceptível a fenômenos que degradam o sinal, tais como interferência, difração e reflexão e outras influências do meio de propagação, foram utilizados algoritmos de aprendizagem de máquina para estabelecer uma relação mais linear entre o nível de sinal de RSSI recebido e a distância do receptor ao veículo. Dada as limitações de *hardware*, optou-se por

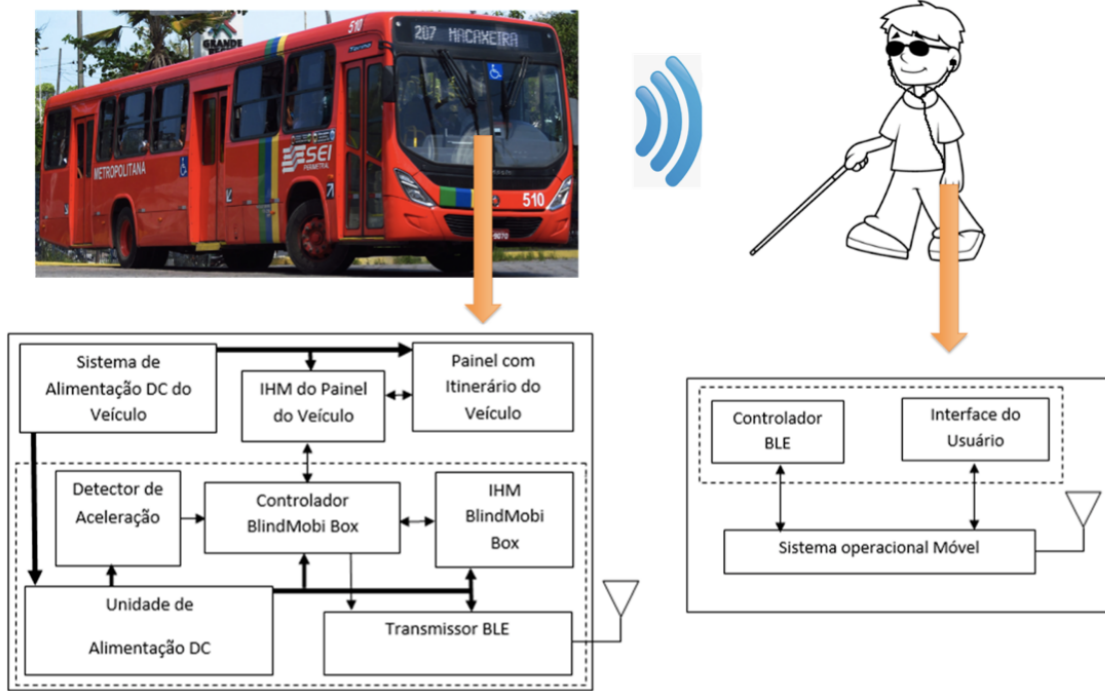


Figura 1. Arquitetura do Sistema Proposto

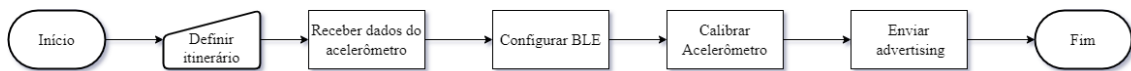


Figura 2. Diagrama da geração dos beacons no hardware instalado no ônibus

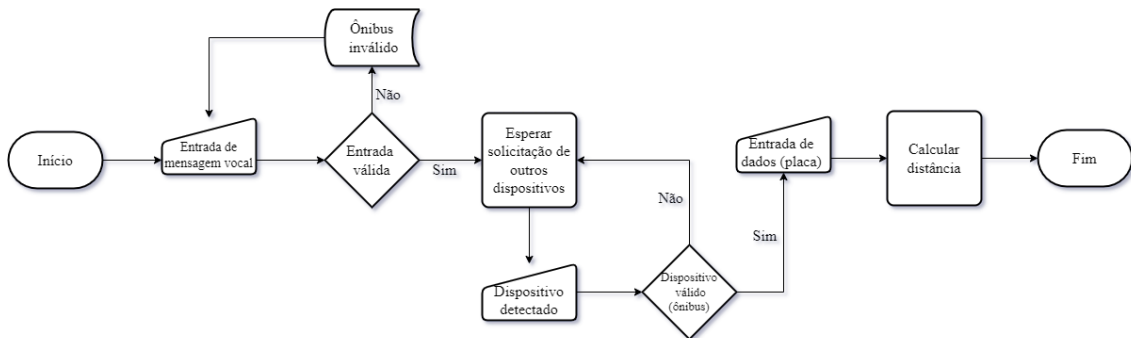


Figura 3. Diagrama do estágio inicial do aplicativo

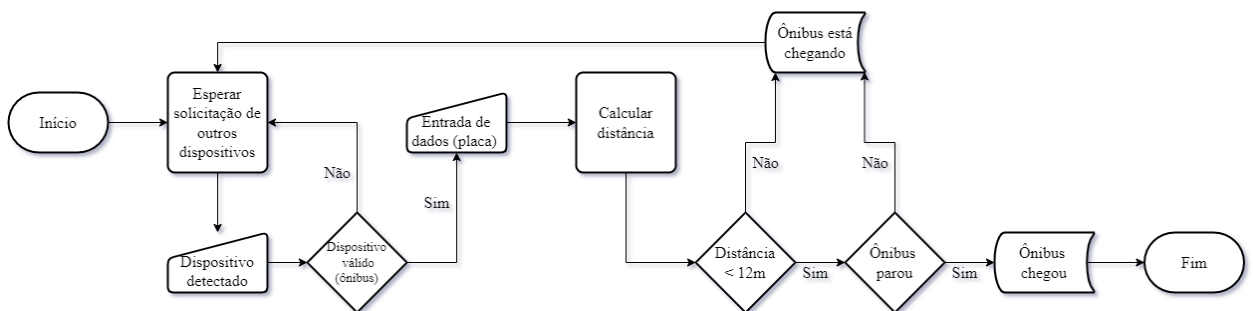


Figura 4. Diagrama do estágio final do aplicativo

duas técnicas de aprendizagem supervisionada: K-NN (*K-Nearest Neighbor*) e Árvore de Decisão.

O algoritmo K-NN é uma abordagem para classificação de dados que estima a probabilidade de um determinado dado ser membro de um grupo de dados ou de outro, dependendo do ponto do dado do grupo mais próximo a ele. Para avaliar o agrupamento entre esses pontos, que no sistema proposto são equivalentes aos valores de RSSI e aceleração (eixos x, y e z), foi utilizada a distância euclidiana. Assim, a partir dos valores recebidos, foram atribuídas cinco classes de distância: 5m, 10m, 20m, 30m e 40m - considerando o banco de dados previamente levantado em testes de campo. Em seguida, as classes 5m e 10m foram associadas à mensagem "ônibus chegou" enquanto as classes 20m, 30m e 40m foram associadas à mensagem "ônibus está chegando".

Como segunda técnica para classificar os valores de RSSI e aceleração em relação a distância, foi escolhido o algoritmo C4.5 - também chamado de Árvore de Decisão [Xiaoliang et al. 2009]. Tal escolha se deu pela simplicidade desta técnica, onde a classificação é feita a partir de estruturas de dados divididas em um conjunto de nós, distribuídos hierarquicamente em função da entropia, calculada previamente a partir dos dados de treinamento.

4.3. Avaliação de desempenho

Para avaliar a eficácia dos algoritmos de aprendizagem de máquina utilizados para inferir a distância do ônibus ao usuário final - algo fundamental para viabilizar o envio das mensagens de áudio por parte do aplicativo de suporte ao embarque, foi seguida uma avaliação descrita na literatura como "Análise de cena". A mesma se refere a coleta dos dados em campo e em tempo-real e os compara com um conjunto de dados coletados previamente e classificados pelos algoritmos escolhidos (K-NN e C4.5). Para validação do sistema proposto, foi utilizado um cenário real, com um o apoio de uma das empresas rodoviárias que opera linhas regulares na Região Metropolitana do Recife. Durante os testes, um dos ônibus foi equipado com o protótipo do dispositivo descrito na Seção 3.2 e foram simuladas aproximações em locais de embarque e desembarque.

Para tal, foi utilizado o programa de mineração de dados WEKA [Hall et al. 2009] que suporta tanto o algoritmo K-NN quanto o C4.5. Para a técnica K-NN foi usada a distância Euclidiana como critério, e o valor de K foi variado entre 1, 3, 5 e 7. No algoritmo de árvore de decisão (C4.5) foi utilizado o critério de divisão pela entropia como critério de seleção. Em ambas as técnicas, foram separadas 66% dos dados coletados para a base de treinamento e os 34% dos dados restantes para a base de teste. Para definir a eficiência de cada um, foi utilizada a acurácia para cada um dos classificadores avaliados.

Primeiramente, avaliou-se a classificação da distância a cada metro em cada um dos algoritmos, e verificou-se a acurácia, em seguida as distâncias foram convertidas para apenas duas classes, com valores entre 5m e 10m equivalentes à classe "ônibus chegou" e os valores entre 20m e 40m equivalentes à classe "ônibus está chegando". A definição dessas classes considerou o comprimento máximo de um ônibus padrão, utilizado no transporte coletivo do Recife, que é de 9,6m.

Na Tabela 1 a acurácia é apresentada, considerando as classes "ônibus chegando" cujo objetivo é sinalizar a aproximação para que o usuário solicite a parada do veículo,

Tabela 1. Acurácia dos diferentes classificadores

Classificador	Taxa média de acerto
KNN com K=1	83,3%
KNN com K=3	86,6%
KNN com K=5	89,0%
KNN com K=7	89,4%
C4.5	91,5%

e "ônibus chegou", para que o usuário embarque de forma segura no veículo. É possível verificar que o algoritmo C.45 apresentou a taxa de acerto de 91.5%.

4.4. Capacitação

Após as etapas de prototipação e testes em campo do sistema, a equipe executora do Projeto de pesquisa responsável pela proposta, dentro das ações extensivas dos Institutos Federais, propôs o Curso de Extensão "Introdução ao desenvolvimento de Tecnologias Assistivas", cobrindo os seguintes tópicos:

- Visão Geral das Tecnologias Assistivas;
- Tecnologias sem-fio para a prototipação de soluções assistivas;
- Tecnologia BLE;
- Introdução ao desenvolvimento Android;

Dessa forma, espera-se um maior envolvimento da comunidade "maker" no desenvolvimento de soluções assistivas, além de ajudar na divulgação da solução proposta e validada. Em virtude da necessidade de distanciamento social imposta pela pandemia da COVID-19, as primeiras turmas foram ofertadas no formato remoto, com aulas síncronas e assíncronas através da plataforma Moodle.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

A partir dos resultados apresentados nos testes de campo realizados com o protótipo do sistema proposto, onde foi obtido um índice de acerto de 91,5% na identificação da proximidade e parada do ônibus no ponto de embarque, ficou comprovada a viabilidade do mesmo. Assim, tal sistema é bastante promissor para a garantia do direito de livre circulação de pessoas com deficiência visual, pois além de um baixo custo de implantação no meio urbano, por não necessitar de adaptações de infraestrutura nos pontos de ônibus, é também bastante acessível aos usuários, pois não exige a necessidade de conexão com a internet para seu funcionamento, pois é baseado em comunicação direta e sem conexão, baseada na tecnologia Bluetooth Low Energy.

Como proposta de trabalho futuro, indica-se a avaliação de outras técnicas de aprendizado de máquina, para melhorar a classificação de distância de aproximação de acordo com RSSI, bem como o desenvolvimento de novas funcionalidades.

Referências

- Alawi, R. A. (2011). RSSI based location estimation in wireless sensors networks. In *2011 17th IEEE International Conference on Networks*. IEEE.
- Atzori, L., Iera, A., and Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 54(15):2787–2805.
- Bertuletti, S., Cereatti, A., Della, U., Caldara, M., and Galizzi, M. (2016). Indoor distance estimated from bluetooth low energy signal strength: Comparison of regression models. In *2016 IEEE Sensors Applications Symposium (SAS)*. IEEE.
- Gill, J. (2003). Requirements for the interconnection of assistive technology devices and information and communication technology systems. <http://www.tiresias.org/reports/inter.htm>.
- Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., and Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software. *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, 11(1):10.
- Jeon, K. E., She, J., Soonsawad, P., and Ng, P. C. (2018). BLE beacons for internet of things applications: Survey, challenges, and opportunities. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2):811–828.
- Kalbani, J. A., Suwailam, R. B., Yafai, A. A., Abri, D. A., and Awadalla, M. (2015). Bus detection system for blind people using RFID. In *2015 IEEE 8th GCC Conference & Exhibition*. IEEE.
- Lim, J. T. F., Leong, G. H., and Kiong, T. K. (2008). Accessible bus system: A bluetooth application. In *Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People*, pages 363–384. Springer London.
- Pascolini, D. and Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5):614–618.
- Xiaoliang, Z., Hongcan, Y., Jian, W., and Shangzhuo, W. (2009). Research and application of the improved algorithm c4.5 on decision tree. In *2009 International Conference on Test and Measurement*. IEEE.
- Zhang, L., Liu, X., Song, J., Gurrin, C., and Zhu, Z. (2013). A comprehensive study of bluetooth fingerprinting-based algorithms for localization. In *2013 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*. IEEE.