

Utilizando sensoramento de ambiente para suportar o gerenciamento esportivo: Um estudo de caso da aplicação myRun

Lauro de Lacerda Caetano, Miguel Mendes de Brito, Markus Endler

¹Departamento de Informática – Pontifícia Universidade Católica (PUC-Rio)
Rio de Janeiro – RJ – Brazil

{lcaetano, mbrito, endler}@inf.puc-rio.br

Abstract. *It is becoming increasingly common the use of sensors and devices by top-level athletes. Wearables devices collect inertial information from an athlete, making it available to the coaching staff. If this information were also associated to environment data, it could map a more detailed athlete's physiology profile cooperating directly in the prevention of injuries. Besides, the environmental information is relevant to the sporting practice because it could promote changes of strategy by the teams during the competitions. As an example, a profile of a footballer with high physical wear could be qualified as inappropriate for intense rainfall conditions. This paper discusses the importance of environmental data for outdoor sports and proposes an IoT application that collects such information and manages the performance of long distance racing athletes. A set of application metrics is collected and analyzed in the case study.*

Resumo. *Percebe-se nos dias atuais o aumento do uso de sensores e dispositivos vestíveis por atletas de alta performance. Os wearables coletam dados inerciais e fisiológicos de cada esportista, disponibilizando-os às comissões técnicas. Se estas informações fossem também associadas à dados do meio-ambiente, estas poderiam mapear de maneira mais detalhada os perfis fisiológicos dos atletas cooperando diretamente na prevenção de lesões. Além disso, as informações de ambiente são relevantes à prática esportiva pois auxiliam a promover mudanças de estratégia por parte das equipes durante as competições. Como exemplo, um perfil de um futebolista com alto desgaste físico poderia ser qualificado como inadequado para condições de chuva intensa. Este artigo discute a importância de dados ambientais para os esportes ao ar livre e propõe uma aplicação IoT que coleta tais informações e gerencia o desempenho de esportistas em corridas de longa distância. Um conjunto de métricas da aplicação é coletado e analisado em um estudo de caso.*

1. Introdução

Nos esportes de alto rendimento, a utilização de dispositivos de sensoramento e a inserção de dispositivos vestíveis (wearables) tem sido cada vez mais presente. Tais equipamentos tornaram-se parte integrante da análise do desempenho esportivo, permitindo que os técnicos e suas equipes de apoio compreendessem melhor as demandas físicas dos atletas [Chambers et al. 2015].

Nos esportes ao ar livre, em especial, o ambiente e as variações meteorológicas possuem forte influência na *performance*, o que pode eventualmente ocasionar mudanças de estratégia por partes das equipes esportivas diante de eventos climáticos como chuva ou vento forte. Atletas poderiam ter seu perfil físico melhor caracterizado se as comissões levassem em conta dados ambientais na medição da *performance*.

Este artigo é organizado da seguinte forma: A seção 2 discute os impactos de variáveis climáticas no desempenho de atividades físicas e esportivas através de dados de diversas competições. O próximo subsequente apresenta trabalhos que correlacionam o uso de dispositivos IoT com a prática esportiva. Em seguida, na seção 4, é proposta uma aplicação para gerenciar o desempenho de uma prática esportiva ao ar livre utilizando dispositivos IoT. Na seção 5, as tecnologias utilizadas como base para desenvolver a aplicação são abordadas. Em seguida, a seção 6 apresenta detalhes de implementação além de métricas coletas pela aplicação MyRun. Na seção posterior, são descritos os testes da aplicação proposta. E por fim, as seções 8 e 9 apresentam respectivamente as conclusões deste trabalho e os trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica

Os fatores climáticos extremos são identificados como um fator limitante à prática de atividades física em geral à diversas populações. Variáveis climáticas como por exemplo o prolongamento do mau tempo em uma cidade leva à queda dos níveis de participação em atividades físicas [Tucker and Gilliland 2007].

As influências do ambiente no desempenho esportivo vem sendo há tempos discutidas pela academia, especialmente nos esportes que demandam resistência. No que diz respeito a maratonas, a principal métrica de *performance* é o tempo total de trajeto. [Suping et al. 1992] analisaram o relacionamento entre o desempenho médio dos corredores e as condições climáticas correspondentes nas maratonas de Pequim entre os anos de 1981 e 1989. Os resultados obtidos revelaram que fatores como condições extremas de temperatura do ar e de umidade levam a maiores tempos de percurso.

[Ely et al. 2007] perceberam que há uma decaimento de desempenho dos maratonistas quando a sensação de temperatura do ar aumenta. Esta queda seria ainda maior no desempenho de maratonistas mais lentos. [Vihma 2010] também concluiu que a temperatura atmosférica é o parâmetro com o maior efeito no tempo total de percurso e adiciona que esta métrica é influenciada em menor escala pela radiação solar e umidade do ar.

[Pezzoli et al. 2013] mediram os parâmetros de ambiente de maior impacto em um conjunto de esportes ao ar livre utilizando grupos de *stakeholders* do Comitê Olímpico Italiano. O ciclismo, o remo, os esportes de tiro e a vela são altamente influenciados pela velocidade e direção do vento. Também foi concluído que a previsão de clima tem um alto impacto nos esportes que foram considerados no estudo e que atletas e técnicos podem utilizar a análise climatológica para realizar treinos específicos a fim de aumentar a *performance* esportiva.

Já é notado, nos dias atuais, o crescimento do uso de micro-sensores e GPS na prática esportiva de alto nível. Em esportes como o futebol e o rugby, há medição de desempenho dos atletas profissionais utilizando dispositivos vestíveis, que agrupam GPS e sensores inerciais (Figura 1). Estes dispositivos coletam dados que auxiliam a análise

de desempenho dos movimentos do atleta, avaliando métricas como distância percorrida por minuto, carga de trabalho e até mesmo movimentos específicos de cada esporte [Chambers et al. 2015].



Figura 1. Atletas utilizando dispositivo vestível que coleta dados de desempenho esportivo

É importante salientar que a correlação de dados de sensores inerciais e sensores climáticos pode ser de relevante importância para as competições esportivas ao ar livre. Como exemplo, pode-se analisar que o desempenho de um atleta é melhor ou pior sob efeito de determinada condição climática. Tal informação pode ser valiosa para a comissão técnica das equipes, que pode propor mudanças de estratégia na prática esportiva individual ou coletiva.

3. Trabalhos Relacionados

O surgimento da Internet das Coisas (IoT ou Internet of Things) proporcionou a criação de novas arquiteturas, sistemas e frameworks que suportam o estudo de diversas áreas, incluindo o esporte. Atualmente, através de IoT, os dados inerciais e ambientais são coletados por sensores e ficam à disposição dos esportistas em tempo quase real. A partir de dados coletados, é possível realizar a análise de desempenho esportivo, o aperfeiçoamento de técnicas e o desenvolvimento de estratégias para as competições.

O tópico de desenvolvimento de novos sistemas, arquiteturas e frameworks de IoT voltados à atividades esportivas e recreativas é iniciado por [Ray 2015], que propõe um framework conceitual chamado IoTSport que divide interações, coisas, processos e dados, os relacionando a atletas e sensores.

[Kubler et al. 2017] propuseram um ecossistema de IoT aberto para cidades inteligentes e apresentaram uma prova de conceito deste sistema que consiste de um gerenciador de eventos esportivos para a Copa de 2022 no Qatar.

Não foi encontrado até o presente momento frameworks que provêm análise de desempenho competitivo baseado em IoT realizando ou não sensoriamento ambiental.

4. Proposta de Aplicação

Como proposta deste artigo, a aplicação MyRun tem o objetivo de gerenciar uma competição de corrida de longa distância ao mesmo tempo que coleta os dados de ambiente. Para medir o desempenho esportivo, a aplicação utiliza um conjunto de dispositivos IoT espalhados em pontos de controle (*checkpoints*), que coletam os tempos parciais dos atletas e os soma resultando em uma classificação parcial e final. Além disso, os dispositivos supracitados também coletam dados do ambiente e a partir do envio destas informações ao servidor, os clientes integrantes das comissões técnicas poderão realizar a análise de desempenho esportivo enriquecida por dados ambientais.

De forma conceitual, um percurso de corrida de longa distância é representado na Figura 2 com diversos checkpoints estacionários realizando a coleta de dados. Alguns destes pontos de controle possuem apenas beacons ou beacons em conjunto com sensores de ambiente. Os competidores, portadores de hubs móveis, são capazes de repassar os dados de beacons e sensores de ambiente para processamento por um servidor ou serviço na nuvem.

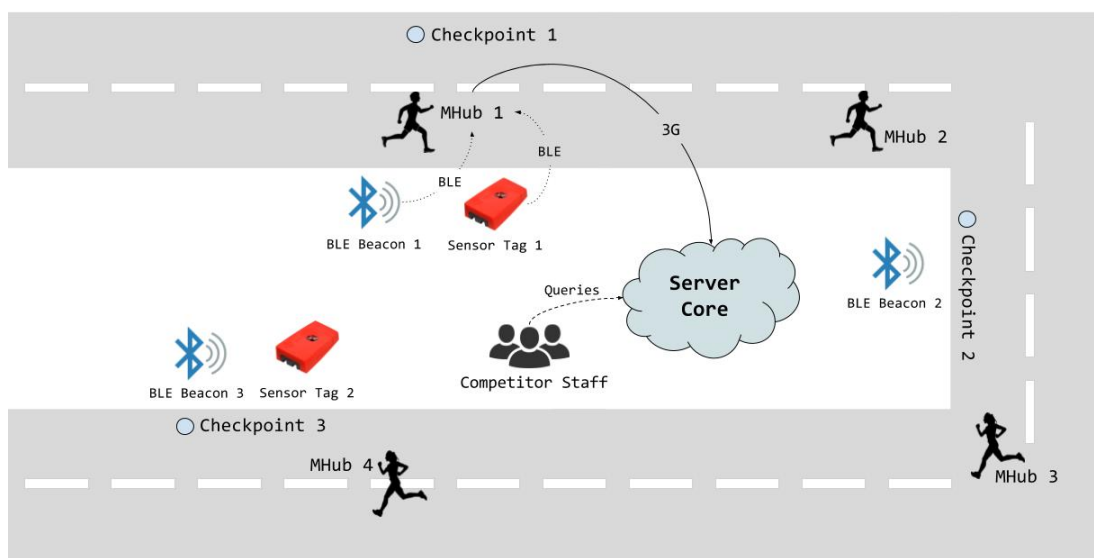


Figura 2. Representação de percurso de corrida com beacons, Sensor Tags e MHubs

Os dados dos sensores são transmitidos em formato JSON um servidor núcleo, que intermedia a comunicação entre os nós móveis além de realizar o processamento dos dados. Os sensores que interessam à aplicação MyRun são os de temperatura, umidade e pressão atmosférica.

5. Tecnologias utilizadas

Para desenvolver a aplicação proposta em um ambiente IoT foram necessários dispositivos e um framework IoT. As principais tecnologias utilizadas para o desenvolvimento da aplicação proposta na seção anterior são descritas a seguir.

5.1. ContextNet

É um *framework* IoT que contém um *middleware*, serviços e APIs para Internet das Coisas Móveis (IoMT)[Endler et al. 2011]. Este framework foi aproveitado como base de comunicação no desenvolvimento da aplicação proposta. A arquitetura e a camada de comunicação da aplicação são realizadas respectivamente pelo ContextNet juntamente com uma camada de distribuição de dados escaláveis chamada SDDL (*Scalable Data Distribution Layer*). A descrição das principais componentes do *framework* ContextNet estão nas subseções a seguir.

5.2. M-OBJs

Os M-OBJs (*Mobile Smart Objects*) são objetos móveis inteligentes que contém sensores ou atuadores acoplados. Estes dispositivos transmitem os dados coletados por meio de redes de curto alcance chamadas WPAN (Wireless Personal Area Network). A principal tecnologia de comunicação utilizada em redes WPAN é a *Bluetooth Low Energy* (BLE) que, nos dias atuais, é amplamente difundida em *smartphones* e objetos inteligentes por causa do seu baixo consumo de energia, bom alcance e rápido pareamento.

A figura 3 apresenta respectivamente os modelos de *beacon* e de sensor de ambiente que foram utilizados no desenvolvimento da aplicação proposta. Ambos os dispositivos trafegam dados por meio BLE. O *beacon* IBeacon W914N dissemina mensagens que contém o seu id, a potência estimada do sinal BLE e um *timestamp*. As mensagens enviadas por este dispositivo não contém *payload*. O conteúdo das mensagens do Sensor Tag CC2541, contrariamente, inclui o *payload* de dados de sensores de temperatura, umidade e pressão atmosférica, além dos mesmos dados contidos na mensagem do *beacon*. As mensagens são enviadas de um hub móvel para o servidor núcleo no formato JSON.



Figura 3. IBeacon W914N e Sensor Tag CC2541 da Texas Instruments

5.3. SDDL Core

O SDDL Core é um domínio DDS (*Data Distribution Service*) que oferece serviços de comunicação entre os nós móveis. Esta comunicação pode ser realizada por meio de redes sem-fio (3G ou Wi-Fi) e permite o envio de mensagens dos tipos *unicast*, *broadcast* e *group-cast*, além de serviços *Publish/Subscribe*.

A figura 4 mostra a rede do servidor núcleo SDDL. A camada SDDL provê suporte com escalabilidade e centraliza a troca de mensagens entre os nós móveis. Estes nós móveis poderiam ser veículos ou *smartphones* que se conectam através dos *gateways* do servidor núcleo SDDL.

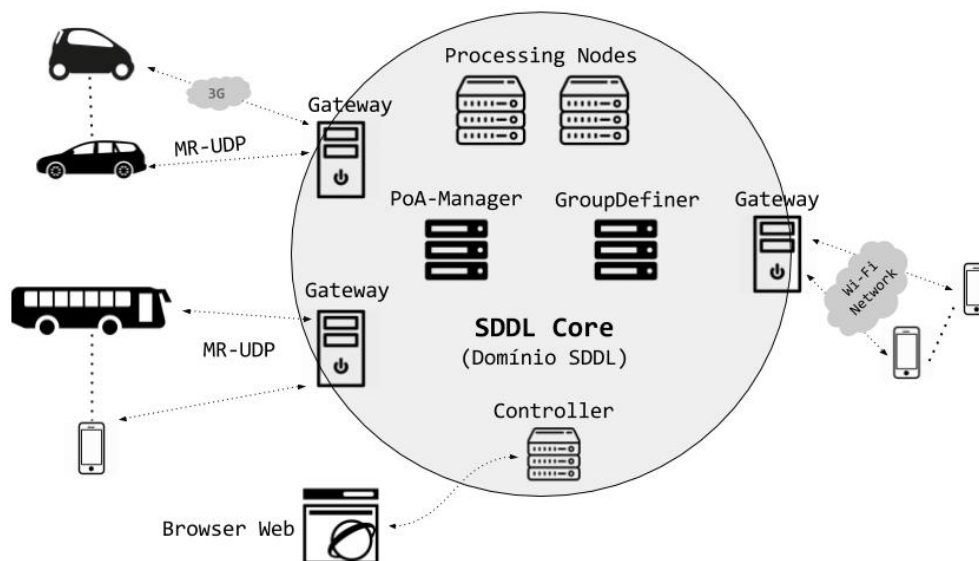


Figura 4. Visão geral do servidor núcleo SDDL e suas componentes

A comunicação SDDL se apoia em dois protocolos: *OMG DDS for Real-Time Systems* para conexão de tempo-real e assíncrona (do tipo *Publish-Subscribe*) além de *MR-UDP* para uma conexão confiável e robusta entre os gateways e os nós móveis. Outras características estão presentes no servidor SDDL, como *handover* transparente (horizontal ou vertical) por perda de conectividade ou balanceamento de carga, travessia *NAT/Firewall* e a possível configuração de políticas de Qualidade de Serviço.

5.4. M-Hubs

O *Mobile Hub* (M-Hub) ou hub móvel é uma componente para *smartphones* do ContextNet que funciona como um *gateway* IoT executado na plataforma Android, sendo o responsável por conectar os M-OBJs com os serviços do servidor núcleo SDDL executados na nuvem. A interface do M-Hub é apresentada na Figura 5.

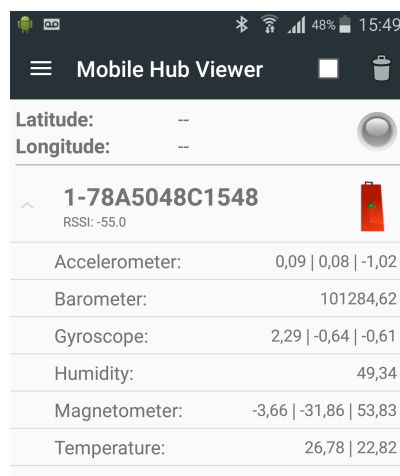


Figura 5. Aplicação do Mobile Hub para Android encontra um MOBJ

O M-Hub possui uma arquitetura de micro-serviços em sua estrutura interna, onde vários serviços Android comunicam-se entre si usando uma interface *Publish/Subscribe*, isto é, de baixo acoplamento.

O Mobile Hub contém quatro principais serviços Android, que são:

- **ConnectionServer:** Utiliza o protocolo MR-UDP na transferência de dados com um Gateway do SDDL;
- **S2PA:** O *Service for Sensory, Presence and Actuation* contém plug-ins para diferentes tecnologias WPAN, como *Classic Bluetooth* e *Bluetooth Low Energy*. Implementa funções relacionadas aos M-OBJS, como *scan*, *connect*, *disconnect*, *get*, *push* e *subscribe*. Também é possível utilizar o S2PA para burcar sensores internos no próprio hub móvel;
- **LocationService:** Consulta a localização do M-Hub e passa esta informação para algum outro serviço;
- **EnergyManager:** Gerencia a frequência dos serviços dependendo do nível de energia disponível. Este serviço pode reduzir a frequência de algum serviço em situações de baixa energia.

5.5. MR-UDP

É uma versão otimizada do Reliable UDP, que implementa uma comunicação confiável sobre o protocolo UDP. O MR-UDP garante uma entrega confiável de pacotes, trata desconexões temporárias e identifica os endpoints através de UUIDs em vez de endereços IP.

6. Implementação da Aplicação MyRun

A aplicação proposta possui ao todo 3 classes principais, apresentadas em um diagrama de classes na figura 6.

A classe **SportsManager** gerencia a classificação da competição, além de criar e monitorar os eventos de clima. Ao receber as mensagens JSONs repassadas por hubs móveis através da função *onNewData*, a classe filtra os JSONs de acordo com tags para alimentar dados de *performance* dos competidores ou mesmo coletar informações ambientais.

A classe **Competitor** monitora informações de desempenho de cada competidor que utiliza um hub móvel. Todo competidor passará por pontos de coleta sequenciais que são armazenados em uma lista indexada.

A partir da chegada de mensagens do UUID específico, são verificados: a fonte emissora do dado (que pode ser o próximo *checkpoint* da sequência) e o nível de sinal. Se os dados forem aceitáveis, o *timestamp* da mensagem é coletado sendo decrescido da hora da largada para a marcação do tempo parcial do competidor em questão. Por fim, o primeiro competidor que atravessar o percurso passando por todos os índices da lista de checkpoints com menor tempo total será considerado o vencedor.

A classe **Staff** atua como cliente e realiza consultas sobre informações ambientais e sobre a performance de competidores. É possível analisar a performance dos competidores rivais a partir da passagem do nome de um competidor.

Foi realizado um ajuste na aplicação do hub móvel no que diz respeito ao tempo de registro (*timestamp*) do envio da mensagem. Este foi configurado atuar em milissegundos ao invés de segundos. Isto possibilita maior precisão quando tratamos de competições esportivas em que menos de 1 segundo pode fazer grande diferença.

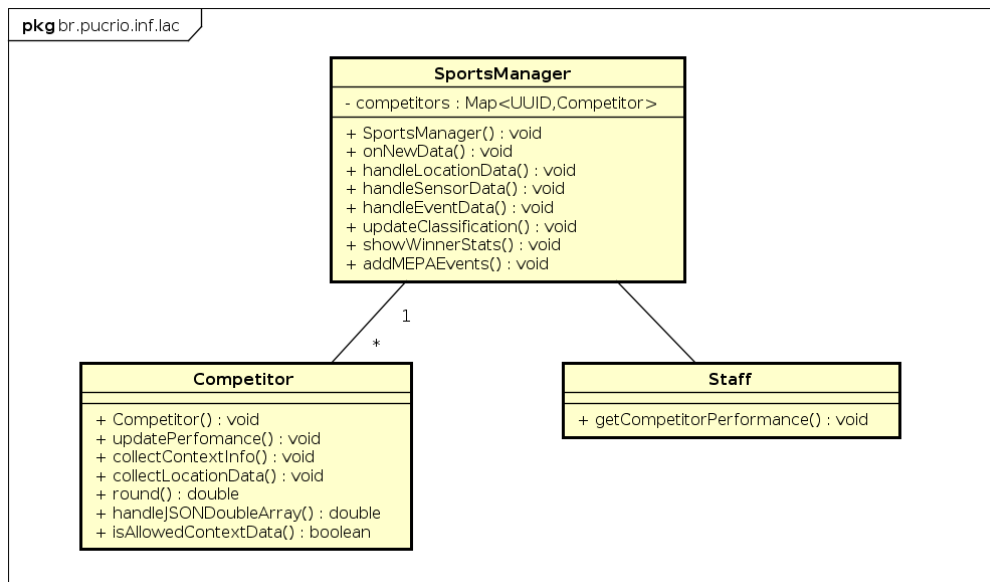


Figura 6. Diagrama de Classes da aplicação MyRun

7. Testes

Com relação a recebimento de mensagens BLE, [Faragher and Harle 2014] demonstraram que os *smartphones* podem receber de forma confiável medições com potência de sinal recebido (*Received Signal Strength* ou RSS) tão baixos quanto -100 dBm. Portanto, os M-Hubs dos competidores foram ajustados para aceitarem apenas mensagens BLE com este valor mínimo de RSS.

Visto que a potência do sinal de um checkpoint poderia causar distorções na classificação dos competidores (um hub do competidor na primeira colocação poderia enviar uma mensagem ao servidor depois que o competidor na segunda colocação), foi realizado um mapeamento da potência do sinal a medida que se afasta do dispositivo BLE. As tabelas 1 e 2 mostram os sinais máximo e mínimo recebidos dos MOBJs IBeacon W914N e do Sensor Tag CC2541. Os testes foram realizados em um ambiente aberto, sem a interferência de outros MOBJs.

Tabela 1. Tabela de potência do sinal do dispositivo IBeacon W914N

| Dispositivo: IBeacon W914N | | |
|----------------------------|------------------|------------------|
| Afastamento | RSS máximo (dBm) | RSS Mínimo (dBm) |
| 1 metro | -57 | -63 |
| 3 metros | -68 | -73 |
| 5 metros | -76 | -87 |
| >5 metros | -86 | -90 |

Tabela 2. Tabela de potência do sinal do dispositivo Sensor Tag CC2541

| Dispositivo: Sensor Tag CC2541 | | |
|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Afastamento | RSS máximo (dBm) | RSS Mínimo (dBm) |
| 1 metro | -57 | -63 |
| 3 metros | -71 | -76 |
| 5 metros | -81 | -92 |
| >5 metros | -88 | -97 |

A partir da análise da tabela e da aplicação de uma margem de erro de 20%, percebeu-se que para registrar o tempo parcial de um competidor, devemos aceitar as mensagens de sinal superior a -75dBm, levando-se em consideração a velocidade do competidor para que seja registrado um timestamp. Em outras palavras, o competidor deve estar suficientemente próximo do *checkpoint* para ter o seu tempo parcial coletado. As mensagens de ambiente, no entanto, são processadas normalmente com RSS mínimo de -100 dBm.

Foram espalhados 2 beacons e sensores de ambiente em diferentes posições em um raio de 1 quilômetro no entorno do Rio Datacentro, na cidade do Rio de Janeiro. 2 hubs móveis partiram de um mesmo ponto em um mesmo instante disputando uma competição de corrida. A periodicidade de envio de dados pelos hubs móveis foi configurada para 500 milissegundos (0,5 segundo) a fim processar maior o número de dados com melhor confiabilidade possível do resultado.

O experimento foi repetido por 20 vezes retornando o resultado correto do vencedor em todas elas.

8. Conclusão

Neste artigo foi discutida a influência que determinadas condições ambientais têm em atividades e esportes ao ar livre. Também foi possível demonstrar uma aplicação IoT que gerencia uma competição esportiva ao ar livre ao mesmo tempo que mede dados ambientais desta competição. Os experimentos, ainda que iniciais, corroboram a visão de que os dispositivos IoT cooperam para a análise de desempenho esportivo, que tem um potencial ainda maior quando variáveis ambientais são coletadas.

9. Trabalhos Futuros

Com o objetivo de mapear as informações precisas de tempo de envio das mensagens por nós móveis dos competidores, há que implementar uma função para sincronizar o relógio de todos os Mobile Hubs com o servidor antes do início da competição.

Além disso, é necessário reservar um tempo de mapeamento de todos os UUIDs de nós competidores antes da largada. Um beacon pode ser posicionado na área de largada para ajudar a mapear todos os nós. Métricas como escalabilidade e latência são relevantes para a aplicação e devem ser testadas na aplicação, ao simular um número de hubs móveis próximo ao de maratonas de prestígio internacional. Em competições como a Corrida de São Silvestre em São Paulo, o número de hubs móveis poderia chegar a 30 mil.

Para medir a influência do ambiente na performance de um atleta de maneira mais precisa, no entanto, há que se realizar novos testes e estudos de caso com um número

maior de hubs móveis, a fim de identificar características sob diversas condições ambientais. A partir da coleta destes dados, poderemos então propor estratégias para a melhoria da performance de um atleta sob determinadas condições climáticas.

Referências

- Chambers, R., Gabbett, T. J., Cole, M. H., and Beard, A. (2015). The use of wearable micro-sensors to quantify sport-specific movements. *Sports medicine*, 45(7):1065–1081.
- Ely, M. R., Cheuvront, S. N., Roberts, W. O., and Montain, S. J. (2007). Impact of weather on marathon-running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(3):487–493.
- Endler, M., Baptista, G., Silva, L., Vasconcelos, R., Malcher, M., Pantoja, V., Pinheiro, V., and Viterbo, J. (2011). Contextnet: context reasoning and sharing middleware for large-scale pervasive collaboration and social networking. In *Proceedings of the Workshop on Posters and Demos Track*, page 2. ACM.
- Faragher, R. and Harle, R. (2014). An analysis of the accuracy of bluetooth low energy for indoor positioning applications. In *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ '14)*, pages 201–210.
- Kubler, S., Robert, J., Hefnawy, A., Främling, K., Cherifi, C., and Bouras, A. (2017). Open iot ecosystem for sporting event management. *IEEE Access*, 5:7064–7079.
- Pezzoli, A., Cristofori, E. I., Moncalero, M., Giacometto, F., and Boscolo, A. (2013). Effect of the environment on the sport performance.
- Ray, P. P. (2015). Internet of things for sports (iotsport): An architectural framework for sports and recreational activity. In *Electrical, Electronics, Signals, Communication and Optimization (EESCO), 2015 International Conference on*, pages 1–4. IEEE.
- Suping, Z., Guanglin, M., Yanwen, W., and Ji, L. (1992). Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. *International journal of biometeorology*, 36(2):63–68.
- Tucker, P. and Gilliland, J. (2007). The effect of season and weather on physical activity: a systematic review. *Public health*, 121(12):909–922.
- Vihma, T. (2010). Effects of weather on the performance of marathon runners. *International journal of biometeorology*, 54(3):297–306.