

Redes de Sensores Sem Fio para Monitoramento de Animais

Diana Laura Fernández Duarte (INATEL)¹, Alfredo Jesús Arbolaez Fundora (INATEL)²

¹diana.duarte@mtel.inatel.br ²alfredo.fundora@mtel.inatel.br;

Resumo. *As redes de sensores sem fio (WSNs, na sigla em inglês) se destacam por sua flexibilidade, escalabilidade e baixo custo, características que levaram ao seu uso em vários setores. Este artigo apresenta uma revisão da literatura sobre seu uso potencial no monitoramento de animais, com foco em quatro aplicações principais: saúde do gado, proteção de ovelhas contra ataques de animais selvagens, rastreamento aéreo de vertebrados e monitoramento de animais aquáticos. Após uma análise das diferentes tecnologias sugeridas em cada caso, as conclusões são apresentadas, enfatizando a importância desses sistemas, bem como os desafios enfrentados durante seu projeto.*

I. Introdução

Uma rede de sensores sem fio é composta por sensores autônomos distribuídos espacialmente que colaboram entre si para monitorar um cenário específico. Cada nó da rede tem a capacidade de registrar variações no ambiente, processar essas informações e enviá-las por meio de comunicação sem fio para uma estação remota. As redes de sensores sem fio são flexíveis, dimensionáveis e de custo relativamente baixo em comparação com outras infraestruturas. Atualmente, elas são usadas em uma ampla gama de aplicações que abrangem vários setores, como saúde, agricultura, pecuária, medicina e indústria.

Nos últimos anos, vários pesquisadores desenvolveram protótipos de redes de sensores sem fio para o monitoramento de animais, o que permite a coleta de informações sobre seu comportamento social, parâmetros fisiológicos ou outros indicadores ambientais que influenciam diretamente seu estado de saúde, a fim de contribuir para a preservação de diferentes espécies ou para aumentar a eficiência da produtividade da pecuária.

Uma pequena compilação de diferentes propostas de WSN para monitoramento de animais é apresentada na Seção II deste projeto, com base em uma revisão da literatura existente. Por fim, a Seção III apresenta as conclusões derivadas desta pesquisa.

II. Monitoramento de Animais

Conforme mencionado acima, as WSN são amplamente usadas para identificação, monitoramento da saúde e rastreamento de gado, fazendo uso de diferentes tecnologias de comunicação, entre as quais podemos mencionar Zigbee [1, 2] ou GSM [3]. A identificação e a detecção de situações de estresse coletivo também são o foco de outras pesquisas [4]. Atenção especial é dada ao projeto BATS, que se concentra no desenvolvimento de um sistema de monitoramento de morcegos, adaptável a outros vertebrados voadores [5]. Pequenas etiquetas para a transmissão de sinais subaquáticos sem fio por meio de ondas acústicas são o foco do projeto Lab on a Fish para o monitoramento de peixes vivos [6]. A seguir, são descritos os diferentes componentes que compõem cada um desses sistemas e é apresentada uma visão geral de como a rede funciona.

A. Sistema Inteligente de Monitoramento da Saúde do Gado

Os métodos tradicionais de monitoramento da saúde para a prevenção de doenças em animais são cada vez mais ineficientes, especialmente em fazendas de grande porte. A detecção tardia de problemas de saúde em um único animal pode desencadear a disseminação de doenças para toda a população, resultando em perdas econômicas significativas e riscos à segurança alimentar.

Portanto, o projeto [1] propõe um sistema de monitoramento da saúde animal baseado na tecnologia Zigbee, que integra diferentes tipos de sensores de baixo custo e baixa potência para medir e controlar alguns parâmetros fisiológicos essenciais para o cuidado e o bem-estar dos animais. O sistema é composto por quatro módulos de sensores: temperatura, umidade, frequência cardíaca e ruminação. Um termostato mede a temperatura corporal do animal, cujos valores normais devem oscilar em uma pequena faixa. Registros fora dessa faixa são indicadores de possíveis doenças. Os sensores de umidade medem a umidade relativa do ar, que deve ser mantida entre 30% e 70% para evitar impactos negativos na saúde do animal, como alterações no metabolismo ou no comportamento. Os sensores de frequência cardíaca registram um indicador importante do nível de estresse e agitação do animal, enquanto os sensores de ruminação monitoram a função digestiva dos animais. Todos esses módulos de sensores são conectados a um microcontrolador, que é responsável pelo envio dos dados coletados a um computador central. Graças ao uso do Zigbee e de seu Indicador de Qualidade do Link (LQI, na sigla em inglês), também é possível rastrear a posição do gado no campo de pastagem sem a necessidade de hardware adicional.

Em [2] os autores também propõem um sistema de monitoramento da saúde animal a ser implementado em áreas rurais de Gujarat, na Índia, usando a tecnologia ZigBee. Os autores sugerem a implementação de uma rede de Área Pessoal Sem Fio (PAN, na sigla em inglês) com topologia em estrela em cada galpão de animais. Cada rede PAN é composta por um coordenador, responsável pelo estabelecimento e controle da rede, e vários dispositivos finais com funcionalidade reduzida, responsáveis pelo registro de determinados parâmetros importantes para o bem-estar dos animais, como sinais vitais, indicadores de possíveis infecções no piso e níveis de poeira. Esses dispositivos finais se comunicam exclusivamente com o coordenador da PAN, que transmite os dados para o roteador mais próximo, que, por sua vez, os envia para o servidor central. Quando um dispositivo final precisa transferir dados para o coordenador, ele primeiro escuta um *beacon* enviado pelo coordenador para determinar a hora exata em que pode transmitir. Quando recebe o *beacon* e o momento é adequado, o dispositivo final transmite os dados para o coordenador. Ao receber os dados, o coordenador envia uma confirmação ao dispositivo final para confirmar que a transmissão foi concluída com êxito.

Outra proposta de WSN foi desenvolvida pelos autores de [3], desta vez para o monitoramento em tempo real da saúde de vacas leiteiras, com a inclusão de um módulo de Sistema de Posicionamento Global (GPS, na sigla em inglês) para rastrear esses animais em grandes pastos. O sistema proposto é composto ainda por um núcleo de microcontrolador AVR® de 8 bits com arquitetura RISC avançada, 131 instruções, capacidade de modo estático completo e desempenho de até 20 MIPS. Os sensores de frequência cardíaca registram a frequência cardíaca das vacas leiteiras, que normalmente varia de 48 a 84 batimentos por minuto em gado grande, enquanto os sensores de temperatura re-

gistram a temperatura corporal do gado. Esses sensores são fixados no animal por meio de coleiras ou brincos. Um módulo GSM fácil de integrar permite a transferência em tempo real das informações coletadas pelos sensores ou rastreadores GPS. Por meio de um aplicativo móvel, os proprietários ou o pessoal designado podem acessar os dados coletados.

B. Sistema para Proteção de Ovinos contra Ataques de Animais Selvagens

Em [4], eles desenvolvem um protótipo de WSN para detectar de forma inteligente o ataque de animais selvagens a rebanhos de cabras ou ovelhas e, consequentemente, gerar alarmes para alertar o proprietário ou a equipe relevante. O estresse nos animais geralmente se manifesta por meio de um aumento na temperatura corporal, na frequência cardíaca e na frequência respiratória. Ao monitorar esses parâmetros, é possível identificar episódios de estresse coletivo em rebanhos de ovelhas ou cabras quando eles são atacados por animais selvagens. Para isso, os autores propõem a colocação de dois eletrodos nas patas dianteiras do animal, conectados a uma faixa, que também contém um sensor de temperatura. A comunicação com o Ponto de Acesso (AP, na sigla em inglês) ocorre por meio do protocolo ZigBee. Quando um nó sensor é ativado, ele examina as redes sem fio disponíveis para tentar se conectar ao AP, que responde com uma confirmação de recebimento (ACK, na sigla em inglês). Em seguida, o nó solicita a autenticação do AP, que sempre confirma que o nó está registrado. O AP proposto, um ZigBee 101 ezpot, atua como um *gateway* entre a rede de sensores sem fio e o servidor que processa os dados coletados, com um alcance de até 100 m, o suficiente para cobrir a área de um celeiro.

Várias causas podem fazer com que um animal sofra com a elevação da temperatura corporal e da frequência cardíaca. Para identificar que precisamente a alteração desses parâmetros é resultado do estresse sofrido pelo animal durante um ataque, é necessário analisar os registros dos outros membros do rebanho. O sistema proposto funciona da seguinte forma: quando um primeiro animal registra uma temperatura alta e uma frequência cardíaca acelerada, o sistema processa as informações como um sinal de alarme individual que é enviado ao AP. O AP envia essas informações para o servidor, que gera uma mensagem para a ativação de um cronômetro de 5 minutos. Se 5 ou mais alarmes forem recebidos durante esse período, o sistema considera que está ocorrendo um evento de estresse coletivo.

O sistema tem um banco de dados que armazena os padrões de comportamento habituais do rebanho. Essas informações são comparadas com os dados recebidos em tempo real para gerar alarmes diferentes de acordo com o nível de emergência. Os alarmes de nível 1 indicam distúrbios no rebanho devido a causas naturais, como a presença de uma fêmea no cio, e somente o proprietário é notificado. Os alarmes de nível 2 são gerados devido à presença de ladrões, para os quais o proprietário e a polícia precisam ser notificados. Os alarmes de nível 3 correspondem a um ataque de animal, portanto, o proprietário e os órgãos de controle animal relevantes devem ser alertados, e alarmes visuais e sonoros devem ser ativados para deter possíveis predadores. Por fim, os alarmes de nível 4 indicam que o gado está sofrendo de estresse devido a um fenômeno natural, como incêndio ou inundação, e o proprietário e os serviços de emergência são notificados. Para gerenciar com eficiência a energia desse sistema, eles propõem um algoritmo de regulação de energia que primeiro identifica se é dia ou noite. Durante o dia, o nível da bateria de cada nó é verificado e, se necessário, o carregamento solar é ativado. Quando

a bateria está 100% carregada, o nó entra em modo inativo. À noite, o algoritmo ativa um relé que conecta a bateria ao nó sensor para monitorar ativamente o rebanho durante o período noturno, quando há maior probabilidade de ataques ou situações de emergência.

C. Sistema de Monitoramento e Vigilância de Vertebrados Aéreos

O desenvolvimento de sistemas de rastreamento para pequenos animais apresenta grandes desafios, pois seu comportamento natural pode ser afetado pelo tamanho ou peso das etiquetas. No caso específico dos morcegos, esses desafios são maiores devido à sua atividade noturna, o que exclui o uso de etiquetas alimentados por energia solar e exige que eles sejam equipados desde o início com toda a energia necessária para sua operação.

O projeto BATS apresentado em [5] propõe a implantação de uma WSN, composta por etiquetas móveis leves que se prendem ao animal e uma rede de estações terrestres para monitoramento e transferência de informações, possibilitando o estudo das estruturas sociais e do comportamento geral dos morcegos ou de outros pequenos vertebrados voadores. O nó móvel, o componente central desse sistema, deve pesar menos de 5% do peso corporal. O modelo mais leve desse sistema (sem sensores) pesa apenas 1g. Essas etiquetas são compostas por: um acelerômetro para registrar o bater de asas do animal e o status geral de atividade; um sensor de pressão de ar para, em combinação com outro sensor de pressão de ar colocado no solo, calcular a altura nominal do voo; e um eletrocardiograma para medir a frequência cardíaca, desenvolvido com eletrodos não invasivos para minimizar o impacto sobre o animal.

A área de rastreamento é composta por várias estações de base, separadas por uma distância de até 50 m. Essas estações recebem os sinais de localização enviados pelos nós móveis. As etiquetas só enviam sinais de localização quando estão dentro da área de rastreamento, o que ajuda a economizar a energia da bateria. Os nós móveis podem detectar se estão dentro ou fora dessa região graças a um nó de terra que transmite continuamente. Esse nó terrestre pode ser equipado com uma bateria maior, portanto, seu consumo de energia não é tão limitado. As etiquetas, além de se comunicarem com as estações de base, podem se comunicar entre si. Isso possibilita o estudo das interações entre os animais e seu uso de determinados recursos, como quando uma etiqueta é fixada em uma fonte de alimento. Para aumentar a robustez e a precisão, o sistema usa duas frequências: uma frequência de 868 MHz/915 MHz (dependendo da região) e uma frequência de 2.4 GHz. O BATS inclui a funcionalidade de download remoto por meio de estações de base dedicadas, desde que o animal esteja a até 200 m de distância, bem como um sistema de telemetria de longo alcance, de até 5 km, que permite o descarregamento de pequenos *beacons* com o número de identificação do nó móvel e algumas informações úteis.

D. Etiqueta de Biotelemetria Sem Fio para Monitoramento de Animais Aquáticos

Um protótipo de uma etiqueta sem fio, multifuncional, minúscula e de longa duração, alimentada por bateria, para monitoramento in vivo de animais aquáticos é o foco do projeto Lab on a Fish [6]. Essa etiqueta é o primeiro dispositivo capaz de medir a atividade elétrica do coração e dos músculos, incorporando um eletrocardiograma e um eletromiograma. Ele também inclui um acelerômetro e um giroscópio para registrar o comportamento físico dos animais. Também estão incluídos sensores para medir parâmetros ambientais, como temperatura, pressão e campo magnético. O componente principal do sistema é um microcontrolador PIC24FFJ64GA702 de 16 bits com módulos

de temporização, periféricos de comunicação serial para interação com circuitos integrados externos, um conversor analógico-digital de 12 bits e um relógio de tempo real. Ele tem uma memória flash de 8 MB capaz de armazenar os dados coletados por até 20 anos. A transmissão é feita por ondas acústicas, uma tecnologia amplamente utilizada para comunicação sem fio subaquática. Os autores propõem um protocolo para a construção de trajetórias de migração em 3D a partir da combinação de dados coletados de vários animais marcados.

III. Conclusões

Neste artigo, foi realizada uma investigação das várias aplicações das WSNs com foco no monitoramento de animais. Foram apresentados diferentes sistemas para controle do comportamento da população, cuidados com a saúde e proteção contra predadores, cada um adaptado às necessidades específicas das espécies e dos ambientes em estudo e tentando superar alguns desafios relacionados à gestão eficiente do consumo de energia e à redução do impacto sobre o comportamento natural dos animais. A implementação bem-sucedida desses modelos exige a colaboração e a integração de várias áreas, como a pecuária, a veterinária, a biologia, a ciência da informação e o desenvolvimento de tecnologia. O monitoramento de animais por meio da WSN abre novas portas para a pesquisa científica e promove o gerenciamento eficiente dos recursos pecuários, o que, conseqüentemente, resulta em um aumento na qualidade de vida da população.

Referências

- [1] Anushka Patil, Chetana Pawar, Neha Patil, and Rohini Tambe. Smart health monitoring system for animals. In *2015 International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCIoT)*, pages 1560–1564, 2015.
- [2] Ankit Bhavsar and Harshal Arolkar. Zigbee based network architecture for animal health monitoring. In *2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, pages 398–402, 2015.
- [3] A. Jaya Lakshmi, Manne Akshitha, Komalla Sathwik, and Gandi Venkata Koushik. Tracking and monitoring cattle's health using wireless sensor networks. In *2024 2nd International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (IDCIoT)*, pages 336–341, 2024.
- [4] Ferran Llario, Sandra Sendra, Lorena Parra, and Jaime Lloret. Detection and protection of the attacks to the sheep and goats using an intelligent wireless sensor network. In *2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, pages 1015–1019, 2013.
- [5] Niklas Duda, Robert Weigel, and Alexander Koelpin. A highly adaptable ultra-low weight wireless sensor network for tracking and monitoring of airborne vertebrates. In *2020 23rd International Microwave and Radar Conference (MIKON)*, pages 127–131, 2020.
- [6] Yang Yang, Jun Lu, Brett D. Pflugrath, Huidong Li, Jayson J. Martinez, Siddhartha Regmi, Bingbin Wu, Jie Xiao, and Zhiquan Daniel Deng. Lab-on-a-fish: Wireless, miniaturized, fully integrated, implantable biotelemetric tag for real-time in vivo monitoring of aquatic animals. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(13):10751–10762, 2022.