



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

JOSÉ ARNALDO DE OLIVEIRA SOUZA FILHO

**MECANISMO DE CONTROLE DE TOPOLOGIA
EM REDES AD-HOC AÉREAS PARA
TRANSMISSÕES MULTIMÍDIA EM TEMPO
REAL COM SUPORTE À QUALIDADE DE
EXPERIÊNCIA.**

CASTANHAL-PA

Abril / 2017

JOSÉ ARNALDO DE OLIVEIRA SOUZA FILHO

**MECANISMO DE CONTROLE DE TOPOLOGIA EM REDES
AD-HOC AÉREAS PARA TRANSMISSÕES MULTIMÍDIA
EM TEMPO REAL COM SUPORTE À QUALIDADE DE
EXPERIÊNCIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do bacharel em Sistemas de Informação.

Orientador: Dr. Denis Lima do Rosário

CASTANHAL-PA

Abril / 2017

JOSÉ ARNALDO DE OLIVEIRA SOUZA FILHO

**MECANISMO DE CONTROLE DE TOPOLOGIA
EM REDES AD-HOC AÉREAS PARA
TRANSMISSÕES MULTIMÍDIA EM TEMPO
REAL COM SUPORTE À QUALIDADE DE
EXPERIÊNCIA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovada em: --/--/----

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Denis Lima do Rosário
Universidade Federal do Pará
Orientador

Prof. Dr. Bruno Souza Lyra Castro
Universidade Federal do Pará

Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo
Universidade Federal do Pará

Dedico este trabalho à minha família, em especial meus pais José Arnaldo e Maria Santa pelos conselhos, por toda ajuda e sacrifício todos estes anos, durante esta jornada. E à minha namorada e futura esposa Amanda Maia por estar ao meu lado em todos os momentos.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Deus, por ter me possibilitado chegar até aqui, por todas as oportunidades que colocou em meu caminho. Gostaria de agradecer também à meus pais, José Arnaldo de Oliveira e Maria Santa de Oliveira Souza por todo o esforço, todo sacrifício e por estarem sempre me apoiando, encorajando, aconselhando e ajudando em todas as conquistas de minha vida. À Amanda de Souza Maia, minha namorada e futura esposa, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, por suportar todas as dificuldades. E por todos os demais de minha família que em determinados momentos me ajudaram demais.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Denis Lima do Rosário, pelo voto de confiança depositado, pela oportunidade, pela enorme paciência, pela disposição em todas as reuniões e conversas. Sua orientação foi fundamental pra que eu conseguisse definir diversos aspectos deste trabalho. Muito obrigado por toda os conselhos e todo o conhecimento valioso repassado. E também ao Prof. Danileno Meireles do Rosário por todo o auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho, agradeço imensamente por todas a viagens, às conversas e conselhos, que foram muito importantes para a concretização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marcos César da Rocha Seruffo, por ter aberto as portas do mundo da pesquisa, e por todos os trabalhos realizados no LADES (Laboratório de Desenvolvimento de Sistemas), os quais me proporcionaram muitas experiências significativas para crescimento tanto pessoal quanto acadêmico. Agradeço também aos colegas de laboratório pelas conversas, ideias, e ajuda em diversas situações.

Ao GERCOM (Grupo de Estudos em Redes de Computadores e Comunicação Multimídia), pela colaboração significativa na minha experiência acadêmica, onde tive a oportunidade de desenvolver este trabalho. Aos colegas de laboratório, que foram solícitos em diversos momentos na troca de conhecimentos e me ajudando com algumas dúvidas.

E por fim, mas de forma alguma menos importante, agradeço ao Faculdade de Computação FACOMP/UFGA por esta grande oportunidade desta graduação.

Resumo

Resumo do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à UFPA como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Sistemas de Informação.

Mecanismo de Controle de Topologia em Redes Ad-Hoc Aéreas para Transmissões Multimídia em Tempo Real com Suporte à Qualidade de Experiência.

Orientador: Dr. Denis Lima do Rosário

Palavras-chave: Controle de Topologia; FANET; Mobilidade

Com o rápido avanço tecnológico nas áreas de sensores, circuitos integrados e de comunicação sem fio, na última década foi possível a criação de redes de sensores sem fio, o que também tornou possível desenvolver sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). A experiência do usuário ao assistir a vídeos ao vivo transmitidos por VANTs deve ser satisfatória mesmo sob a influência de mudanças de topologia causadas pela mobilidade de UAVs de redes Flying Ad-Hoc (FANETs).

Apesar dos muitos benefícios promissores, a comunicação sem fio com VANTs também é confrontada com vários desafios, pois exige mecanismos mais eficazes de gestão de recursos e de segurança, concebidos especificamente para esses sistemas. Desta forma, os protocolos de roteamento devem considerar um mecanismo de controle de topologia baseado na abordagem de posicionamento de retransmissão para encontrar o local ideal para nós de retransmissão e evitar os efeitos de movimentos de VANTS.

Neste trabalho, é apresentado um mecanismo de controle de topologia, chamado MobiFANET, para suportar transmissões multimídia em tempo real com suporte à Qualidade de Experiência (QoE). O mecanismo proposto visa manter a conectividade da rede através da mitigação dos efeitos da mobilidade VANT, evitando falhas de comunicação, atrasos e *void area*, considerando a localização do nó e o modelo de mobilidade FANET

para calcular a localização do nó de retransmissão ideal, impedindo falhas de rota e áreas vazias causadas por movimentos de VANT. Os resultados da simulação mostram que MobiFANET consegue a disseminação de multimídia com suporte QoE, conforme exigido em muitos cenários de FANET de segurança e segurança.

Abstract

Abstract of bachelor monograph presented to UFPA as a partial fulfillment of the requirements to obtain a Bachelor's Degree in Information Systems.

Topology Control Mechanism on Flying Ad-Hoc Networks for Real-Time Multimedia Transmissions with Quality of Experience Support

Advisor: Dr. Denis Lima do Rosário

Key words: Topology Control; FANET; Mobility.

With the rapid technological advance in the areas of sensors, integrated circuits and wireless communication, in the last decade it has been possible to create wireless sensor networks, which has also made it possible to develop Unmanned Aerial Vehicle (UAV) systems. User experience when watching live VANTS videos should be satisfactory even under the influence of topology changes caused by the mobility of Flying Ad-Hoc UAVs (FANETs).

Despite the many promising benefits, wireless communication with UAVs is also faced with several challenges as it requires more effective resource management and security mechanisms designed specifically for these systems. In this way, routing protocols must consider a topology control mechanism based on the retransmission positioning approach to find the ideal location for retransmission nodes and avoid the effects of VANTS motions.

In this work, a topology control mechanism, called MobiFANET, is presented to support real-time multimedia transmissions with Quality of Experience (QoE) support. The proposed mechanism aims to maintain network connectivity by mitigating the

effects of UAV mobility, avoiding communication failures, delays, and void area, considering node location and FANET mobility model to calculate node location. Optimum retransmission, preventing route failures and empty areas caused by UAV movements. The simulation results show that MobiFANET achieves multimedia streaming with QoE support, as required in many FANET security and safety scenarios.

Conteúdo

1	Introdução	p. 1
1.1	Visão geral	p. 1
1.2	Motivação	p. 3
1.3	Objetvos	p. 4
1.4	Organização do texto	p. 5
2	Tecnologias Referenciadas	p. 6
2.1	<i>Flying ad-hoc Network</i>	p. 6
2.2	Modelos de Mobilidade	p. 8
2.2.1	Modelo <i>Random Waypoint</i>	p. 9
2.2.2	Modelo Baseado em Feromônio	p. 10
2.2.3	Modelo Circular Semi-Aleatório	p. 10
2.2.4	Modelo baseado em Plano de Missão	p. 11
2.2.5	Modelo <i>Gauss-Markov</i>	p. 11
2.2.6	Modelo de mobilidade <i>PAPARAZZI</i>	p. 12
2.3	Qualidade de Experiência	p. 13
2.3.1	Índice de Similaridade Estrutural (SSIM)	p. 14
2.3.2	Video Quality Metric (VQM)	p. 14
2.4	Conclusões do capítulo	p. 15

3	Trabalhos Relacionados	p. 17
3.1	Protocolos de Roteamento	p. 17
3.1.1	<i>Beaconless Routing Protocol</i>	p. 17
3.1.2	<i>Cross-layer Link quality and Geographical-aware beaconless OR protocol</i> .	p. 18
3.2	Controle de Topologia	p. 19
3.2.1	<i>Particle Swarm Optimization</i>	p. 19
3.2.2	<i>Efficient Deployment of Multiple Unmanned Aerial Vehicles for Optimal Wireless Coverage</i>	p. 20
3.3	Conclusões do capítulo	p. 20
4	MobiFANET: Mecanismo de Controle de Topologia em FANETs para Transmissões Multimídia em Tempo Real com Suporte à Qualidade de Experiência.	p. 21
4.1	Visão geral	p. 21
4.2	Modelo de Sistema e Rede	p. 21
4.3	A Arquitetura do MobiFANET	p. 23
4.4	Operações de Controle de Topologia MobiFANET	p. 24
4.4.1	Casos de uso	p. 26
4.5	Conclusões do Capítulo	p. 27
5	Avaliação de desempenho	p. 28
5.1	Descrição da Simulação e Métricas	p. 28
5.2	Resultados	p. 30
5.3	Conclusão do capítulo	p. 34
6	Conclusões	p. 35
	Referências	p. 37

Lista de Abreviaturas

VANTS	Veículos Aéreos Não Tripulados
FANET	<i>Flying Ad-Hoc Network</i>
QoS	Qualidade de Serviço
QoE	Qualidade de Experiência
OR	Opportunistic Routing
RNs	Nós Retransmissores
MobiFANET	Mecanismo de Controle de Topologia
SSIM	Structural Similarity
VQM	Video Quality Measurement
MANET	<i>Mobile ad-hoc Network</i>
VANET	<i>Vehicular ad-hoc Network</i>
D2D	Dispositivo-Para-Dispositivo
D2I	Dispositivo-Para-Infraestrutura
RWP	<i>Random Waypoint</i>
MBF	Modelo Baseado em Feromônio
MCSA	Modelo Circular Semi-Aleatório
MBPM	Modelo Baseado em Plano de Missão
PSNR	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
MSE	<i>Mean Square Error</i>
VQEG	Grupo Internacional de Especialistas em Qualidade de Vídeo
BLR	<i>Beaconless Routing Protocol</i>
DFD	Delay Forwarding Dynamic
XLinGO	Cross-layer Link quality and Geographical-aware beaconless OR protocol
NUs	Nós Usuários
RPGM	Modelo de Grupo de Ponto de Referência
LOO	Leave-one-out

PSO Particle Swarm Optimization
FIFO *First In First Out*
M3WSN *Mobile MultiMedia Wireless Sensor Network*

Lista de Figuras

Figura 1	Exemplo de <i>void area</i>	3
Figura 2	Cenário FANET com comunicações D2D e D2I	7
Figura 3	Cenário de Aplicação FANET	8
Figura 4	Modelo Random Waypoint	9
Figura 5	Modelo baseado em Feromônio	10
Figura 6	Modelo Circular Semi-Aleatório	10
Figura 7	Modelo Baseado em Plano de Missão	11
Figura 8	Modelo Gauss-Markov	12
Figura 9	Movimentos do Modelo de Mobilidade Paparazzi	13
Figura 10	Área de encaminhamento do BLR	18
Figura 11	FANET Multimídia Implantada em uma Situação de Emergência	22
Figura 12	Componentes do MobiFANET e sua interação com um protocolo de rote-	

	amento e um gerenciador de mobilidade	24
Figura 13	Localização Ideal para Retransmissor Baseado em Localização Geográficos e no Modelo de Mobilidade FANET	25
Figura 14	Localização e Parâmetros de Retransmissor Alternativos	26
Figura 15	VANTs voando no Ambiente	27
Figura 16	Cenário de simulação	29
Figura 17	SSIM e VQM em Cenário Composto por 30 Vants com Diferentes Velocidades	31
Figura 18	Cenário Composto por 30 Vants com Diferentes Velocidades	32
Figura 19	Cenário Composto por 40 Vants com Diferentes Velocidades	33
Figura 20	Frame #140 da Sequência de vídeo UAV_1 Transmitido por Diferentes Protocolos	34

Lista de Tabelas

Tabela 1	Parâmetros de Simulação	30
----------	-------------------------------	----

CAPÍTULO 1

Introdução

Este capítulo irá expor brevemente sobre Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), Redes Aéreas Ad-hoc formadas por VANTS, apresentando as principais vantagens e desafios enfrentados por esse tipo de rede, sintetizando suas principais aplicações. Também serão apresentados superficialmente os próximos capítulos.

1.1 Visão geral

Com o rápido avanço tecnológico nas áreas de sensores, circuitos integrados e de comunicação sem fio, na última década foi possível a criação de redes de sensores sem fio. Através desse avanço, foi possível desenvolver sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) que podem voar de forma autônoma ou operados remotamente, sem qualquer interferência humana (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013).

Os sistemas de VANTS têm potencial para apoiar ações em ambientes perigosos. O desenvolvimento desses sistemas para apoiar e oferecer recursos aos usuários é um dos grandes desafios para os próximos anos e tem motivado uma corrida tecnológica entre várias empresas. Neste contexto, a colaboração entre vários VANTS para a criação de uma *"Flying Ad-Hoc Network"* (FANET) é uma tendência crescente, uma vez que as futuras aplicações exigem sistemas mais autônomos e de rápida implantação. Por diversos motivos, a utilização desses sistemas é promissor em diversas áreas, seja militar ou civil, tais como o monitoramento meteorológico, detecção de incêndios florestais, controle do tráfego, busca e salvamento de emergência, retransmissão de comunicações e outros (HANSCOM; BEDFORD, 2015).

Neste contexto, a transmissão de fluxos de vídeo através de FANETs permitirá uma grande classe de aplicações multimídia, tais como recuperação em desastres, monito-

ramento ambiental, segurança, entre outras (ZENG; ZHANG; LIM, 2016). Dessa forma, os dados multimídias desempenham um papel importante para proporcionar um visual rico para ajudar as equipes de resgate terrestres na tomada de decisões apropriadas em caso de desastres naturais (ROSÁRIO et al., 2014).

Embora a difusão de vídeo exija Qualidade de Serviço (QoS) para suportar a entrega de conteúdo para finais, a Qualidade de Experiência (QoE) tornou-se essencial em redes *ad-hoc* com restrições de recursos ou infraestrutura instável, como as FANETs (LIOTOU et al., 2015) (MAIA; YEHA; ERRICO, 2015a). Conseqüentemente, há uma demanda por transmissão de vídeo com baixa taxa de perda de pacotes, atraso tolerável fim-a-fim e baixo jitter para fornecer suporte QoE (MAIA; YEHA; ERRICO, 2015b). A transmissão de vídeo através de FANETs é uma tarefa difícil devido a alterações de topologia causadas pelas condições do canal sem fio e mobilidade dos VANTs. Desta forma, vários protocolos de roteamento oportunista, do inglês "*Opportunistic Routing (OR) beaconless*" com conhecimento geográfico foram propostos para satisfazer a exigência de entregar vídeos com suporte a QoE sobre cenários FANET. No entanto, estudos mostraram que as alterações da topologia têm impactado tanto no desempenho da rede quanto na qualidade de vídeo de tais protocolos (HU et al., 2016)

Por outro lado, o tipo de modelo de mobilidade VANT torna-se também fundamental no desempenho dos protocolos OR para FANET, uma vez que os movimentos dos VANTs quebram muitos enlaces de comunicação (MAXA; MAHMOUD; LARRIEU, 2015). Por isso, um dos principais desafios para encaminhar pacotes em FANETs é como amenizar os efeitos da mobilidade VANT para evitar falhas de comunicação, atrasos e perda de pacotes durante as transmissões de vídeo (SAHINGOZ, 2013). Além disso, os protocolos OR tentam encontrar nós retransmissores (RNs) ao longo do caminho entre os nós de origem e de destino, o que muitas vezes não é possível em redes reais devido à *void area* (BRAUN; HEISSENBÜTTEL; ROTH, 2010).

O serviço de posicionamento de nós retransmissores visa apontar uma localização ideal para VANTs que funcionam como nós retransmissores para mitigar os efeitos das quebras de conexão devido a movimentação do VANT e, assim, melhorar a conectividade de rede, a sua acessibilidade e a taxa de transferência. Particularmente, este serviço pode ser limitado a um subconjunto de VANTs atuando como retransmissão (MAGÁN-CARRIÓN et al., 2016). Em tal contexto, colabora para melhorar o desempenho de protocolos OR sem marca, controlando a topologia da rede para aliviar os efeitos da mobilidade do UAV. Assim, tais serviços de colocação de retransmissão devem levar em consideração a localização geográfica, bem como informações sobre a trajetória de mobilidade adotada pelos VANTs.

Neste trabalho, apresentamos um mecanismo de posicionamento de nós retransmissores, chamado MobiFANET, para aprimorar a execução de protocolos OR não compatíveis em FANET e, assim, proporcionar transmissões de vídeo satisfatórias aos usuários. O MobiFANET aplica a localização geográfica e o modelo de mobilidade UAV para estabelecer a localização ideal do relé e para mitigar as falhas da rota e as áreas vazias causadas pelos movimentos do UAV. O nível de qualidade dos vídeos obtidos pelos usuários quando

os FANETs executam o MobiFANET em conjunto com um protocolo OR sem marca, foi avaliado através da obtenção de duas métricas objetivas de QoE bem conhecidas, nomeadamente a Estratégia de Similaridade (SSIM) e a Métrica de Qualidade de Vídeo (VQM). Os resultados da simulação mostram que o MobiFANET atinge o ganho SSIM de 10% e o ganho VQM de 30%, conforme exigido em cenários FANET de segurança e segurança.

1.2 Motivação

Apesar dos muitos benefícios promissores, a comunicação sem fio com VANTs também é confrontada com vários desafios, pois exige mecanismos mais eficazes de gestão de recursos, concebidos especificamente para esses sistemas. Na verdade, os VANTs precisam trocar informações sobre a sua situação e as suas tarefas entre si, e transmitir dados de forma satisfatória. Além disso, o ambiente de alta mobilidade dos sistemas VANTs geralmente resulta em topologias de rede altamente dinâmicas, que são normalmente ligadas de forma difícil e intermitente (SUN et al., 2011).

Devido a esse comportamento, durante a transmissão de vídeo acontecem problemas como desconexões, *void area*, entre outros. Uma desconexão ocorre durante uma transmissão de dados entre os VANTs, ou entre VANTs e a estação base, quando se distanciam demasiadamente durante sua movimentação e a transmissão é quebrada. Já a *void area* ocorre quando um determinado VANT não consegue detectar outro para repassar a informação recebida, pois o mesmo encontra-se em uma área isolada, como mostrado na Figura 1.

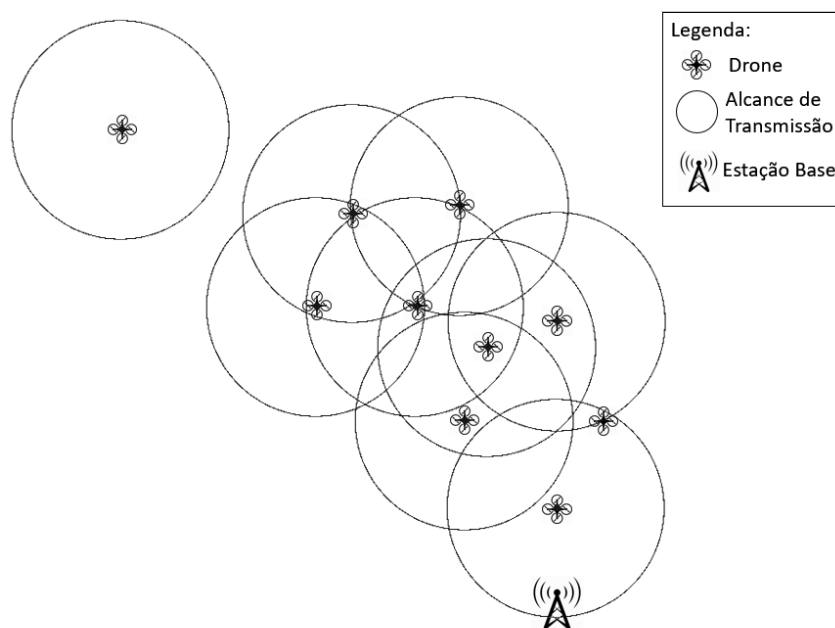


Figura 1: Exemplo de *void area*

Fonte: Autor

Os mecanismos de controle de topologia atuais poderiam ser classificados em

ajustes de potência de transmissão e métodos de posicionamento de RNs. Na abordagem de ajuste de potência de transmissão, cada nó tenta ajustar dinamicamente a sua potência de transmissão (isto é, o alcance de transmissão do seu rádio) para encontrar o alcance de transmissão apropriado, mantendo a rede ligada enquanto ajusta a potência de transmissão ao nível de energia mínimo possível. No entanto, esta abordagem pode aumentar a interferência e a perda de pacotes. Além disso, tal abordagem não mitiga os efeitos da mobilidade de VANTs.

Por outro lado, a abordagem de posicionamento de retransmissores encontra um local ideal para os RNs para mitigar os efeitos dos movimentos de VANTs, melhorando a conectividade, acessibilidade e taxa de transferência da rede. Mais especificamente, esta abordagem pode ser restrita a um subconjunto de VANTs que operam como retransmissores (MAGÁN-CARRIÓN et al., 2016).

Neste contexto, o MobiFANET aumenta o desempenho do protocolo OR *beaconless*, controlando a topologia de rede para amenizar os efeitos da mobilidade VANT. Portanto, um mecanismo eficiente de controle de topologia de posicionamento de RNs deve levar em conta a localização geográfica e as informações sobre o modelo de mobilidade adotado pelos VANTs.

1.3 **Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um mecanismo de controle de topologia para posicionamento de RNs, chamado MobiFANET. Este mecanismo baseia-se na localização geográfica e no modelo de mobilidade FANET para calcular a localização ideal do RN a fim de manter a conectividade da rede e suportar transmissões multimídia em tempo real com QoE adequada. Desta forma, o MobiFANET atenua as falhas de rota e *void area's* causados pelos movimentos dos VANTs.

Quanto aos objetivos específicos, englobam os seguintes tópicos:

- Desenvolver o mecanismo para encontrar a posição mais favorável para retransmitir os pacotes recebidos;
- Implementar o mecanismo em um protocolo de roteamento;
- Analisar os benefícios e ganhos proporcionado pelo mecanismo ao protocolo de roteamento através da avaliação utilizando um simulador de eventos discretos.

Foram realizadas simulações para avaliar o nível de qualidade dos vídeos transmitidos pelo mecanismo MobiFANET em comparação com os vídeos transmitidos pelo protocolo OR *beaconless* sem qualquer mecanismo de controle de topologia. A análise da qualidade do vídeo foi realizada por meio de duas métricas objetivas bem conhecidas de QoE, a saber, a SSIM e a (VQM). O mecanismo MobiFANET forneceu um ganho SSIM de aproximadamente 10% e um ganho VQM de 30%, conforme mostrado no Capítulo 5.

1.4 Organização do texto

O restante do trabalho está dividido em 5 capítulos, ordenados de acordo com as descrições abaixo:

- Capítulo 2: Apresenta um estudo sobre os aspectos importantes relacionados às FANETs, como as aplicações, os desafios na transmissão de conteúdo e os principais modelos de mobilidade existentes. Além disso, apresenta as métricas de QoE que serão utilizadas para a avaliação dos resultados.
- Capítulo 3: Apresenta alguns trabalhos relacionados ao controle de topologia em FANETs. Ele descreve as características e o funcionamento de cada trabalho e as principais vantagens e desvantagens das soluções apresentadas em cada um.
- Capítulo 4: Detalha a proposta do trabalho, o modelo de sistema, sua arquitetura, módulos e operações de controle.
- Capítulo 5: Apresenta a metodologia utilizada, a descrição da simulação e métricas de avaliação, bem como a análise dos resultados.
- Capítulo 6: Apresenta a conclusão do trabalho, resumindo as principais contribuições e resultados. Fazendo, também, direcionamentos para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Tecnologias Referenciadas

Neste capítulo, será apresentada uma visão geral sobre as Flying *ad-hoc* Network , quanto às características da rede e os benefícios fornecidos pelo seu uso. Além disso serão apresentadas algumas aplicações que se beneficiam desse tipo de rede. No restante do capítulo serão apresentados alguns modelos de mobilidade que representam o comportamento de movimentação dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs). E serão descritas ainda as Métricas de QoE para avaliação do desempenho da proposta deste trabalho.

2.1 *Flying ad-hoc Network*

Como resultado do rápido avanço nas tecnologias de comunicação, eletrônicas e de sensores, tem sido possível produzir sistemas de VANTs que podem voar de forma autônoma ou podem ser operados remotamente sem transportar pessoal humano. Devido à sua versatilidade, flexibilidade, facilidade de instalação e despesas operacionais relativamente pequenas, o uso de VANTs promete novas formas para aplicações civis, comerciais e militares, tais como operações de busca e salvamento, vigilância de fronteiras, controle de incêndios florestais, retransmissão em redes *ad-hoc*, monitoramento de catástrofes, monitoramento do tráfego, entre outros (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013)(MOZAFFARI et al., 2016)(ZENG; ZHANG; LIM, 2016)

Com a evolução dos sistemas embutidos e a tendência de miniaturização dos sistemas micro eletromecânicos, já é possível produzir pequenos ou mini-VANTs a baixo custo. No entanto, a capacidade de um único VANT é limitada. A coordenação e colaboração de múltiplos VANTs podem criar um sistema que está além da capacidade de apenas um. As vantagens dos sistemas multi-VANTs podem ser resumidas em: baixo custo, alta escalabilidade, redundância, e menor tempo de conclusão das operações, dependendo do número de VANTs utilizados (HAYAT; YANMAZ; MUZAFFAR, 2016)

No entanto, os sistemas multi-VANTs também têm desafios únicos e um dos problemas que mais se destaca é a própria comunicação (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013). Ou seja, devido às condições ambientais dinâmicas, movimentos dos nós e estruturas de terreno, os VANTs podem não manter seu enlace de comunicação. Outro problema é a restrição de alcance entre os VANTs e a estação base terrestre. Se um VANT está fora da cobertura da estação base, torna-se desconectado. Uma solução de comunicação alternativa para sistemas multi-VANTs é estabelecer uma rede *ad-hoc* entre VANTs, que é chamada FANET. Enquanto apenas um subconjunto de VANTs pode se comunicar com a estação base terrestre, todos os VANTs constituem uma rede *ad-hoc*. Desta forma, os VANTs podem comunicar uns com os outros e com a estação base.

FANETs podem ser vistas como uma forma especial de "*Mobile ad-hoc Network*" (MANET) e "*Vehicular ad-hoc Network*" (VANET). No entanto, também existem certas diferenças entre a FANET e as redes *ad-hoc* existentes, como, por exemplo: o grau de mobilidade dos nós em uma FANET é muito maior comparado às outras redes e, por isso, dependendo da mobilidade desses nós, a topologia muda com mais frequência do que a topologia de uma MANET típica ou mesmo uma VANET. As redes *ad-hoc* existentes visam estabelecer conexões ponto-a-ponto e a FANET também precisa dessa conexão para a coordenação e colaboração de VANTs. A Figura 2 mostra um cenário FANET em que o enlace de comunicação pode ser realizado tanto de dispositivo-para-dispositivo (D2D) quanto de dispositivo-para-infraestrutura (D2I) (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013).

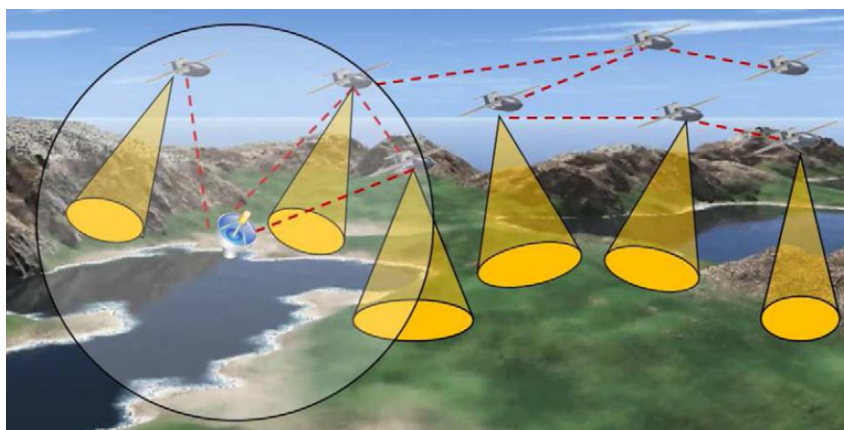


Figura 2: Cenário FANET com comunicações D2D e D2I

Fonte: (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013)

Através da Figura 2, percebe-se que a FANET se baseia nos enlaces de dados D2D em vez de enlaces de dados D2I, e pode estender a cobertura da operação, ou seja, mesmo que um nó não possa estabelecer um enlace de comunicação com a infraestrutura, ele ainda pode operar através da comunicação dos outros VANTs.

Deve-se notar, também, que o terreno afeta a cobertura de comunicação da infraestrutura. Com isso, podem haver alguns obstáculos no terreno, como montanhas, paredes ou edifícios, e estes obstáculos podem bloquear os sinais das infraestruturas. Es-

pecialmente nas áreas urbanas, edifícios e construções bloqueiam os sinais de rádio entre a estação base e os VANTs. As FANETs também podem ajudar a operar por trás dos obstáculos e pode estender a escalabilidade de aplicações multi-VANTs (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013).

Na maioria dos casos, os sistemas multi-VANTs operam em um ambiente altamente dinâmico. As condições no início de uma missão podem mudar durante a operação. Se não houver oportunidade de estabelecer uma rede *ad-hoc*, todos os VANTs devem estar conectados a uma infraestrutura, como ilustrado na Figura 3a. No entanto, durante a operação, devido às alterações climáticas, alguns dos VANTs podem ser desligados. Se o sistema multi-VANTs pode suportar a arquitetura FANET, ele pode manter a conectividade através dos outros VANTs, como mostra a Figura 3b. Este recurso de conectividade aumenta a confiabilidade dos sistemas multi-VANTs (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013).

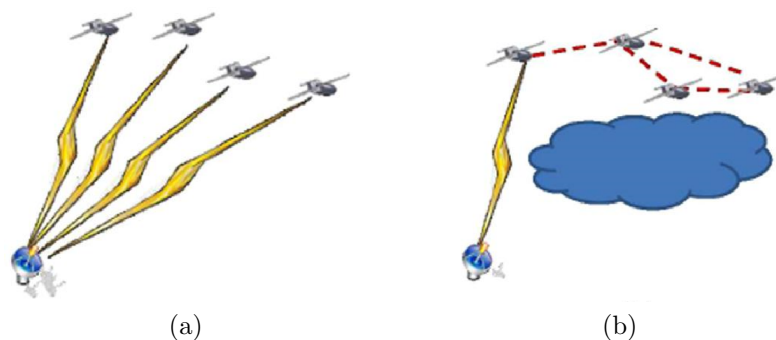


Figura 3: Cenário de Aplicação FANET

Fonte: (BEKMEZCI; SAHINGOZ; TEMEL, 2013)

Em algumas aplicações multi-VANTs, são preferidos planos de caminho genéricos, onde os VANTs se movem em um caminho predeterminado e o modelo de mobilidade é regular. Em sistemas multi-VANTs autônomos, o plano de voo não está predeterminado. Mesmo se um sistema utiliza planos de voo predefinidos, por causa das mudanças ambientais ou atualizações de missão, o plano de voo pode ser recalculado. Além das mudanças no plano de voo, as diferentes formações e o rápido movimento de VANTs afetam diretamente o modelo de mobilidade desses sistemas. A fim de esclarecer um pouco mais sobre esta questão, alguns modelos de mobilidade FANET são apresentados na próxima subseção.

2.2 Modelos de Mobilidade

O modelo de mobilidade determina o movimento dos nós, assim como sua localização, velocidade e mudança de aceleração ao longo do tempo. Com isso, é possível observar que o desempenho de um protocolo *ad-hoc* pode variar significativamente dependendo do modelo de mobilidade utilizado. Esses modelos são indispensáveis para

pesquisas em redes *ad-hoc* a fim de criar um ambiente de simulação realista (BOUACHIR et al., 2014).

A mobilidade de uma rede depende basicamente de duas características: localização dos nós e mudança de velocidade em dado instante (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002). A movimentação dos nós pode ser descrita como uma equação matemática ou através de simulação. Usando um ambiente de simulação, são obtidos resultados mais precisos, resoluções mais eficientes para os mais complexos problemas. Existem diversos tipos de modelos de mobilidade, alguns dos mais utilizados serão descritos a seguir.

2.2.1 Modelo *Random Waypoint*

Segundo (HYTTIÄ; VIRTAMO, 2005), o modelo de mobilidade Random Waypoint (RWP) é um dos mais usados em análises de redes *ad-hoc* sem fio. No modelo tradicional, o caminho dos nós é definido por uma sequência de pontos colocados aleatoriamente no caminho usando uma distribuição uniforme em um mesmo domínio.

(XIE et al., 2014) aponta um tempo de pausa entre as mudanças na direção e velocidade dos nós, incluído no Random Waypoint. Nesse modelo, de forma geral, os VANTS iniciam permanecendo parados em um local por um determinado tempo de pausa. No momento em que este tempo expira, estes movem-se para localizações aleatórias, isto é, livre na movimentação deles, com velocidade uniformemente distribuída entre mínima e máxima. Os VANTS, então se deslocam em direção ao seu destino escolhido aleatoriamente na velocidade escolhida. Após concluir sua trajetória, o VANT para novamente para o tempo de pausa antes de iniciar novamente o processo (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002). A Figura 4 mostra o modelo RWP. Em (WANG; FANG; SHAN, 2009), o

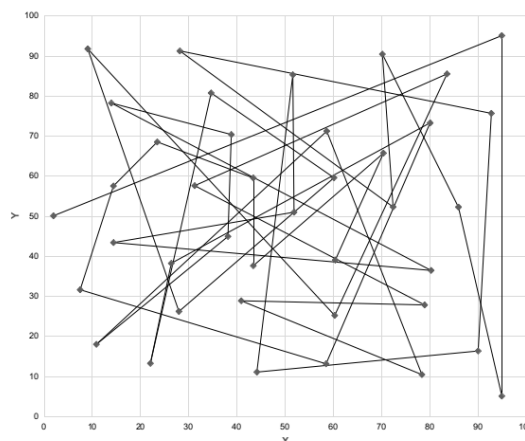


Figura 4: Modelo Random Waypoint

Fonte: (KUMARI; MAAKAR; SAH, 2015)

movimento dos VANTS dependem de probabilidades específicas devido a aeronave não fazer sua mudança de direção e velocidade rapidamente. O RWP é baseado em 3 ações: virar para a direita; virar para a esquerda; e seguir (YASSEIN; DAMER, 2016).

2.2.2 Modelo Baseado em Feromônio

O Modelo Baseado em Feromônio (MBF) leva em conta uma determinada área para cada VANT e o guia de feromônios. Cada VANT marca a zona que foi verificada no guia e encaminha para outros VANTs (YASSEIN; DAMER, 2016). A fim de expandir o escopo, os VANTs preferem o movimento através da zona de baixa concentração de feromônio. A Figura 5 mostra o MBF. Mostrou-se que o modelo aleatório é notavelmente

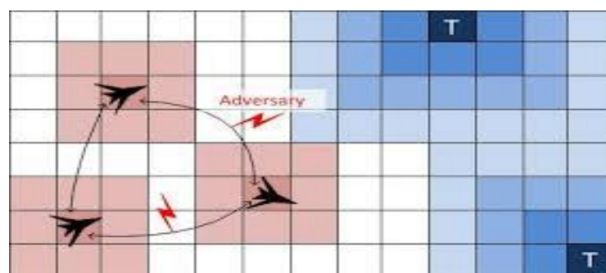


Figura 5: Modelo baseado em Feromônio

Fonte: (KUMARI; MAAKAR; SAH, 2015)

simples, mas que conduz a resultados comuns (XIE et al., 2014). Por outro lado, o MBF tem propriedades de monitoramento muito confiáveis, pois um mapa de feromônios é utilizado para orientar os VANTs. Com isso, ocorrem diversas trocas de informações entre aeronaves sobre sua área monitorada e, de acordo com o que decidem, será executada a ação de virar à esquerda, à direita ou ir para frente (KUMARI; MAAKAR; SAH, 2015).

2.2.3 Modelo Circular Semi-Aleatório

O modelo Modelo Circular Semi-Aleatório (MCSA) é adequado para simular VANTs pairando sobre uma informação específica que se encontra sob sua localização. Este modelo foi desenvolvido para que os VANTs mantenham seus movimentos em forma curva (YASSEIN; DAMER, 2016). Esta técnica é usada para simular VANT para capturar algumas informações sobre algumas regiões, como, por exemplo, um monitoramento de determinada área (CHO et al., 2011)(MAZA et al., 2011)(XIANG; TIAN, 2011), rodando em torno da área especificada. O modelo MCSA é ilustrado na Figura 6

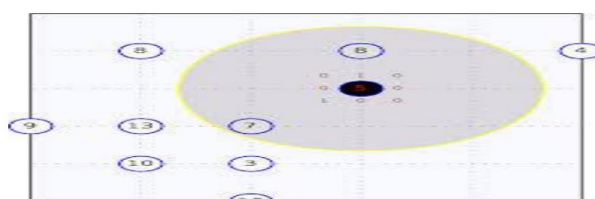


Figura 6: Modelo Circular Semi-Aleatório

Fonte: (KUMARI; MAAKAR; SAH, 2015)

No modelo em questão, supomos que existem n nós móveis (VANTs) que giram no sentido anti-horário sobre o centro da área circular X com raio r , ou seja, os VANTs estão voando em uma constante e comum altitude. A decolagem e o pouso dos VANTs não são modelados, os mesmos pressupostos que são utilizados em (FREW; LAWRENCE, 2005). Assim, cada um VANT estará monitorando parte da área onde está o objeto procurado em questão.

2.2.4 Modelo baseado em Plano de Missão

No Modelo baseado em Plano de Missão (MBPM), a informação do plano de voo é predefinida e a aeronave pode ir em frente com esse plano. Isso implica que a aeronave move-se ao longo de um caminho planejado, sempre que a aeronave pode chegar ao espaço de missão e o potencial de dados local de destino é acessível (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002). A Figura ?? ilustra esse modelo.

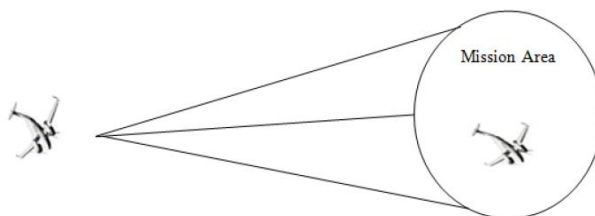


Figura 7: Modelo Baseado em Plano de Missão

Fonte: (KUMARI; MAAKAR; SAH, 2015)

No MBPM, quando o tempo é longo, os arquivos de mobilidade são criados e atualizados. Para cada aeronave, o objetivo inicial e final é designado arbitrariamente, enquanto a velocidade e o tempo de voo são dados (WANG; FANG; SHAN, 2009). Se uma aeronave alcança o destino antes do tempo de voo ter terminado, ela começa uma nova viagem mudando sua direção e mantendo-se em voo (YASSEIN; DAMER, 2016).

2.2.5 Modelo *Gauss-Markov*

O modelo *Gauss-Markov* usa um parâmetro de ajuste para variar o grau de aleatoriedade no padrão de mobilidade (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002). Este modelo foi designado para diferentes níveis de aleatoriedade através de um parâmetro específico. Para a simulação de um protocolo de rede *ad-hoc*, utilizando este modelo e o comportamento do enxame, a área de simulação possui uma variação em contraste com o modelo RWP (ZHAO; JIANG; SHA, 2014).

Neste modelo, todos os nós possuem uma velocidade e direção específicas, definidos inicialmente. A cada período de tempo, o movimento atualizará a direção e a velocidade para os VANTs (YASSEIN; DAMER, 2016). A velocidade e a direção são calculadas com base na última posição.

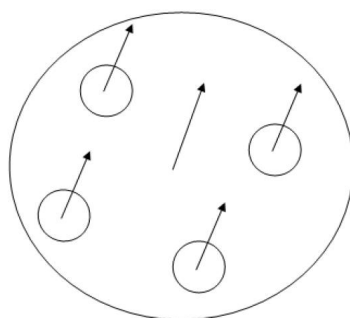


Figura 8: Modelo Gauss-Markov

Fonte: (KUMARI; MAAKAR; SAH, 2015)

Desta forma o modelo de mobilidade Gauss-Markov pode eliminar as paradas bruscas e voltas na rota, o que acontecem no modelo de mobilidade RWP, permitindo que determinada velocidade e, em alguns casos, até mesmo a direção influencie as velocidades e direções futuras (CAMP; BOLENG; DAVIES, 2002), como mostrado na Figura 8.

2.2.6 Modelo de mobilidade *PAPARAZZI*

É um modelo de mobilidade estocástico que imita o comportamento do VANT com base em uma máquina de cinco estados (BOUACHIR et al., 2014), cada estado representando um movimento. O modelo de mobilidade Paparazzi pode ser utilizado para avaliar qualquer protocolo de comunicação no contexto de enxame de VANTs de colaboração, uma vez que dá origem à cenários realistas devido à sua movimentação (YASSEIN; DAMER, 2016). Por exemplo, pode ser utilizado para comparar vários protocolos de encaminhamento, a fim de encontrar o mais adequado para cada rede *ad-hoc* VANT.

Além disso, o modelo de mobilidade Paparazzi pode se adaptar a qualquer tipo de missão porque ele agrupa a maioria dos movimentos possíveis de VANTs, alterando a probabilidade de cada tipo de movimento, conforme necessário (BOUACHIR et al., 2014). De acordo com especialistas, nesse modelo os VANTs possuem cinco possíveis movimentos, conforme mostrado na Figura 9:

- Stay-at: o VANT para sobre uma posição fixa (Figura 9a);
- Way-Point: o VANT segue o caminho direto para uma posição destino (Figura 9b);
- Eight: a trajetória da aeronave tem a forma de "8" em torno duas posições fixas (Figura 9c);
- Scan: o VANT realiza uma varredura de uma área definida por dois pontos ao longo das trajetórias de ida e volta (Figura 9e);
- Oval: o VANT muda a trajetória de ida e volta entre dois pontos virando uma vez que passar por cada ponto (Figura 9d).

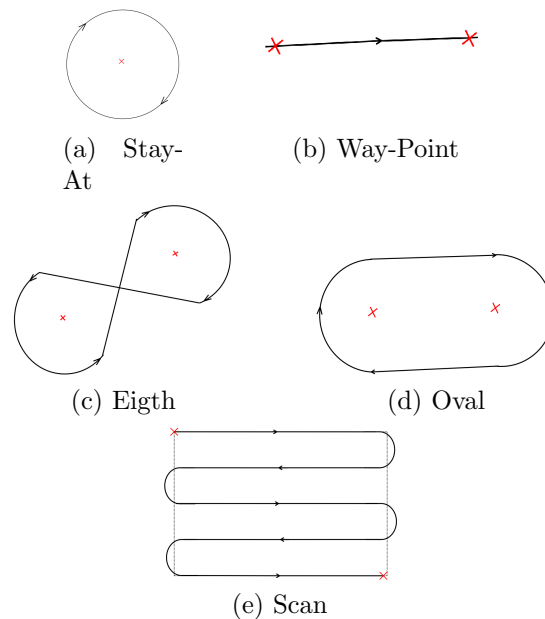


Figura 9: Movimentos do Modelo de Mobilidade Paparazzi

Fonte: Adaptado de (BOUACHIR et al., 2014)

2.3 Qualidade de Experiência

Apesar de existirem diversas arquiteturas propostas para prover QoS para garantir a entrega de conteúdo para usuários finais, a percepção do usuário para o tráfego de vídeo pode não ser satisfatória mesmo com as garantias de métricas tradicionais como vazão, atraso e perda de pacotes. Dessa forma, as novas propostas de protocolos, mecanismos e arquiteturas para a Internet requerem suporte adequado à QoE a fim de garantir a satisfação do usuário.

A avaliação de QoE tornou-se essencial em redes *ad-hoc* com restrições de recursos ou infraestrutura instável, como as FANETs. Conseqüentemente, há uma demanda por transmissão de vídeo com baixa taxa de perda de quadros, atraso tolerável fim-a-fim e baixo *jitter* para fornecer suporte QoE (MAIA; YEHA; ERRICO, 2015b).

A avaliação da qualidade de vídeo é realizada por métricas objetivas e subjetivas. As métricas objetivas são baseadas em modelos matemáticos e as métricas subjetivas são baseadas na percepção humana, para estimar a média das opiniões dos usuários. Alguns exemplos de métricas objetivas utilizadas para estimar o nível de qualidade de serviços multimídia, de acordo com a percepção do usuário, são: *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR), *Mean Square Error* (MSE), *Structural Similarity* (SSIM) e *Video Quality Metric* (VQM). Neste trabalho, serão utilizadas as métricas SSIM e VQM descritas a seguir.

2.3.1 Índice de Similaridade Estrutural (SSIM)

Diferentemente do PSNR, que somente compara a taxa de erro do vídeo recebido em relação ao vídeo original, a métrica SSIM avalia o vídeo recebido considerando outros fatores, como a similaridade de cores, luminosidade e estrutura. Ela também mede a distorção estrutural do vídeo, tentando obter uma melhor correlação com a percepção subjetiva do usuário. Por isso, combina estes componentes em um único valor, chamado índice. O índice SSIM é um valor decimal entre 0 e 1, onde 0 significa que não há correlação com a imagem original (baixo nível de qualidade de vídeo) e 1 significa exatamente a mesma imagem (nível de alta qualidade de vídeo) (ROSÁRIO et al., 2014).

O sistema separa a tarefa em três etapas de medições comparativas: luminância, contraste e estrutura; onde cada conjunto de valores é armazenado em vetores distintos. Primeiramente, a luminância de cada *frame* é comparada assumindo sua intensidade média em x e em y , representadas na Equação 2.1 .

Em seguida, as raízes quadradas das variâncias σ são calculadas nos vetores de contraste. A comparação estrutural dos *frames* é obtida a partir do cálculo do coeficiente de correlação x_y entre x e y , correspondendo ao cosseno do ângulo entre os dois vetores. Após este processo, obtêm-se a média de cada vetor e o indicativo da qualidade do vídeo SSIM é gerado pela combinação e análise das três médias. O valor do índice SSIM é obtido através da Equação 2.1

$$SSIM_{(x,y)} = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1) + (2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1) (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (2.1)$$

Onde:

- μ_x é a média de x ;
- μ_y é a média de y ;
- σ_x é o desvio padrão de x ;
- σ_y é o desvio padrão de y ;
- σ_{xy} é a covariância de y ;
- $c_1 = (k_1L)^2$ e $c_2 = (k_2L)^2$ são duas constantes;
- $k_1 = 0,01$ e $k_2 = 0,03$ por padrão;
- L é o valor máximo que pode ser atribuído a cada pixel.

2.3.2 Video Quality Metric (VQM)

A métrica de qualidade de vídeo é um método padronizado de medir objetivamente a qualidade do vídeo. Os testes de validação do Grupo Internacional de Espe-

cialistas em Qualidade de Vídeo (VQEG) mostraram uma correlação muito alta entre os inquéritos subjetivos dos utilizadores e os resultados objetivamente medidos (ZHAO; LIU; CHEN, 2016). Esta métrica pode ser calculada em referência a uma transmissão perfeita utilizando a codificação de fonte selecionada. Em outras palavras, se houver dois fluxos de vídeo de codificação de fonte diferente e diferentes qualidades originais, executando em um canal não congestionado, ambos podem obter o mesmo valor VQM, mesmo que a qualidade de fonte de um fluxo de vídeo seja superior a O outro fluxo de vídeo (ELARABAWY; GELL; STANWOOD, 2017).

Calibração: nesta fase inicial tem-se por objetivo calibrar o vídeo em preparação para a fase de extração de características. Com esta proposta, são estimados e corrigidos, juntamente com os deslocamentos espaciais e temporais, os deslocamentos de contraste e brilho da sequência de vídeo degradada em relação a sequência de vídeo original; Extração de características de qualidade: nesta fase, um conjunto de características de qualidade que descreve as mudanças na percepção espacial, temporal e de crominância é extraído de sub-regiões espaço-temporais da sequência de vídeo (original e degradada) (BEGAZO; RODRÍGUEZ; RAMÍREZ, 2011).

2.4 Conclusões do capítulo

Este capítulo teve como objetivo apresentar as principais tecnologias e conceitos utilizados na criação e desenvolvimento deste trabalho, apresentando as principais características das FANETs, seus benefícios, desafios, aplicações e os diferentes modelos de mobilidade utilizados nessas redes. Além disso, foram descritas as métricas de QoE para a avaliação de desempenho do mecanismo proposto.

Em relação à trajetória de mobilidade do VANT, cada VANT v_i pode voar com base no modelo Random Waypoint, Gaus Markov, Semi-Aleatório Circular, modelo de mobilidade baseado no Plano de Missão e Paparazzi (HAYAT; YANMAZ; MUZAFFAR, 2016). No entanto, os modelos de movimentos circulares aleatórios, Gaus Markov e Semi-Aleatórios Circular não são adequados para os FANETs, uma vez que os VANTs não alteram sua direção e velocidade de mobilidade rapidamente e não podem ficar por um tempo no mesmo ponto, como modelo Random Waypoint. No modelo de mobilidade do plano da Missão, os VANTs estão conscientes de toda a trajetória geralmente planejada antecipadamente, o que significa que os VANTs viajam ao longo do caminho determinado de forma consistente. Finalmente, o modelo de mobilidade Paparazzi permite que os VANT se adaptem a qualquer tipo de missão, pois agrupa a maioria dos possíveis movimentos de VANT, alterando a probabilidade de cada tipo de movimento conforme necessário (BOUACHIR et al., 2014).

Com isso, pode-se afirmar que este capítulo é de fundamental importância para o esclarecimento e entendimento da proposta, uma vez que apresenta os principais conceitos e tecnologias associadas. O próximo capítulo apresenta alguns trabalhos relacionados utilizados como base de estudo comparativo para o desenvolvimento deste trabalho, de

forma a analisar suas formas de operação e suas principais vantagens e desvantagens.

CAPÍTULO 3

Trabalhos Relacionados

Este capítulo tem como objetivo apresentar alguns trabalhos presentes na literatura, relacionados a protocolos de roteamento e ao controle de topologia em FANETs. Ele descreve as principais características e o funcionamento de cada trabalho e compara suas vantagens e desvantagens no processo de posicionamento de RNs para transmissão de vídeos em FANETs.

Divide-se em duas seções. Na Seção 3.1.1 são abordados alguns protocolos de roteamento para FANETs, enfatizando o BLR e o XLinGO. Já na Seção 3.1.2 são mostrados alguns mecanismos de controle de topologia e as técnicas que foram utilizadas para o posicionamento ideal de RNs.

3.1 Protocolos de Roteamento

3.1.1 *Beaconless Routing Protocol*

O *Beaconless Routing Protocol (BLR)* é um protocolo de roteamento baseado em posição para redes *ad-hoc* móvel que faz uso de informações de localização para reduzir a sobrecarga de roteamento. Diferente de outros protocolos de roteamento baseados em posição, BLR não exige que os nós emitem mensagens de controle (*beacons*) periodicamente. Isso evita inconvenientes como o uso extensivo de energia, interferências com a transmissão de dados e informações de posição desatualizadas ou imprecisas, em caso de alta mobilidade.

Em relação aos protocolos de roteamento oportunista, do inglês *Opportunistic Routing Beaconless Protocols*, (BRAUN; HEISSENBÜTTTEL; ROTH, 2010) introduziram o conceito de Atraso de Encaminhamento Dinâmico (*DFD*) como decisão de encaminha-

mento no BLR. Em vez de troca contínua de informações com os nós vizinhos, cada nó faz a decisão de encaminhamento computando um valor *DFD* com base nas informações de cabeçalho de pacote e sua localização atual. Todos os receptores definem um temporizador e o que responder primeiro será selecionado como RN. Sendo assim, o protocolo BLR seleciona o RN de maneira distribuída entre seus vizinhos sem possuir informações sobre suas posições ou mesmo estar ciente da existência destes, fazendo com que apenas um entre estes nós seja o RN. Desta forma, os protocolos OR *beaconless* asseguram que os pacotes sejam encaminhados mesmo se a topologia mudar continuamente. Porém, neste trabalho, os autores não consideram, em nenhum momento, a mobilidade dos nós para o cálculo do DFD ou como parâmetro importante nas simulações e experimentos realizados.

Além disso, o BLR considera que apenas os nós localizados dentro da área de encaminhamento participam do processo como mostrado na 10, impedindo o nó de destino de receber muitos pacotes duplicados. Como resultado da cativação DFD, o nó mais próximo do destino gera o DFD mais curto e encaminha primeiro o pacote. Os nós vizinhos reconhecem a ocorrência de retransmissão e cancelam a transmissão programada para o mesmo pacote que ouvem. Depois de um determinado nó ter detectado através da confirmação passiva a recepção bem sucedida, ele envia pacotes subsequentes via unicast ao nó que transmitiu o pacote. Além disso, o BLR define uma estratégia de backup quando o modo ganancioso falha. Nesse caso, o nó transmite uma mensagem de controle e todos os vizinhos respondem com mensagem de controle indicando suas posições. Então, o nó escolhe o possível candidato mais próximo do destino para unicast dos pacotes subsequentes.

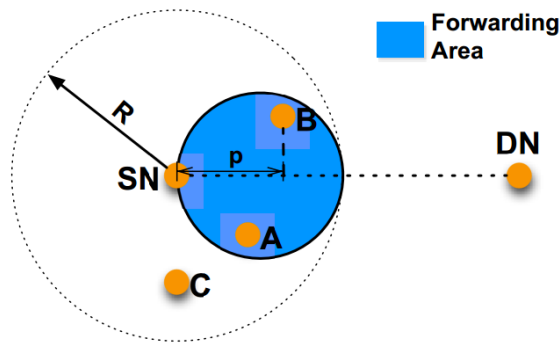


Figura 10: Área de encaminhamento do BLR

Fonte: (ROSARIO; BRAUN, 2014)

3.1.2 *Cross-layer Link quality and Geographical-aware beaconless OR protocol*

(ROSÁRIO et al., 2014) propuseram o protocolo *Cross-layer enlace quality and Geographical-aware beaconless OR protocol (XLinGO)*. Ele combina um conjunto de camadas cruzadas, vídeo e parâmetros relacionados ao usuário para calcular o DFD, ou seja, comprimento da fila, qualidade do enlace, localização geográfica e energia residual.

A abordagem de camadas cruzadas melhora as decisões de roteamento e também de redundância de pacotes de acordo com as características do aplicativo (características e requisitos de vídeo), camada de enlace (qualidade do enlace), energia, localização geográfica e informações do sistema visual humano. O protocolo proposto foi simulado em um cenário composto por robôs móveis ou VANTs equipados com câmeras para transmitir fluxos de vídeo das áreas monitoradas, como exigido em aplicações de salvamento ou de vigilância. No entanto, ele poderia ser facilmente adaptado para muitos outros cenários de multimídia móvel, como em MANETs e VANETs.

O XLinGO permite uma disseminação multimídia eficiente e robusta com suporte QoE em cenários dinâmicos, além de aumentar a experiência do usuário e reduzir a sobrecarga em um ambiente de rede limitado e pouco confiável. Mais especificamente, ele também baseia-se na abordagem de roteamento oportunista *beaconless* e utiliza múltiplas métricas de diferentes camadas para calcular e estabelecer um *backbone* virtual confiável. Além disso, utiliza o esquema de redundância ciente de QoE, que adiciona pacotes redundantes somente para quadros de vídeo importantes, reduzindo a sobrecarga da rede, enquanto maximiza a experiência do usuário.

3.2 Controle de Topologia

3.2.1 *Particle Swarm Optimization*

Neste artigo, os autores apresentam uma nova abordagem de posicionamento para melhorar a conectividade em uma rede sem fio multi-salto. A abordagem é feita comparando a nova proposta com o método *DKS*, abordado em (DENGIZ; KONAK; SMITH, 2011). Para isso, novos métodos foram criados, um para cada etapa da proposta: *SIMPLE*, *SELECTIVE* e *OPTIMIZED*. Vale ressaltar que dois modelos de mobilidade para os nós usuários (*NUs*) foram considerados: Modelo *Random WayPoint* e Modelo de Grupo de Ponto de Referência (*RPGM*) (HONG et al., 1999). No entanto, esse mecanismo considera apenas uma rede estática e, portanto, não leva em consideração os modelos de mobilidade VANT para encontrar a localização ideal do *RN*.

Em relação aos mecanismos de controle de topologia de posicionamento de RNs, (Magan:2016) introduziram um mecanismo de posicionamento de RNs, onde o problema global é dividido em etapas. Na primeira etapa, um conjunto de RNs são distribuídos de forma homogênea ao longo das bordas para conectar partições na rede, de acordo com uma árvore de abrangência baseada na distância. Depois disso, o mecanismo estima as localizações ótimas para RNs, levando em consideração os algoritmos *Leave-one-out (LOO)* e de *Particle Swarm Optimization (PSO)*.

3.2.2 *Efficient Deployment of Multiple Unmanned Aerial Vehicles for Optimal Wireless Coverage*

(MOZAFFARI et al., 2016) propuseram um método de implementação eficiente, que leva à cobertura máxima. Eles desenvolveram um método para determinar as melhores localizações 3D dos VANTs, levando em conta a área geográfica alvo, os requisitos de cobertura dos usuários no solo e o número de VANTs.

O objetivo do trabalho é investigar o posicionamento 3D ótimo de vários VANTs, a fim de maximizar o desempenho da cobertura da rede ao usar uma potência de transmissão mínima. Ou seja, dada uma área geográfica alvo, os requisitos de cobertura dos usuários e um número de VANTs que usam antenas direcionais, foi desenvolvida uma nova estrutura para determinar as localizações 3D ótimas desses VANTs. A operação de probabilidade de cobertura de cada VANT foi feita em função da altitude do VANT e do ganho da antena.

Os resultados mostraram que, considerando o tamanho da área desejada, o número de VANTs disponíveis e o ganho das antenas direcionais, a altitude e a localização dos VANTs podem ser adequadamente ajustados para satisfazer os requisitos de cobertura. Além disso, esses resultados revelam o número mínimo de VANTs necessários para garantir uma cobertura desejada para uma dada área geográfica. No entanto, este trabalho foca na cobertura, sem considerar o movimento dos VANTs para manter a conectividade da rede.

3.3 Conclusões do capítulo

Com base na análise dos trabalhos relacionados, concluímos que tanto as falhas de comunicação como as *void areas*, causadas pela mobilidade de VANTs, reduzem o nível de qualidade dos vídeos recebidos pelo usuário. Assim, é essencial considerar um mecanismo de controle de topologia eficiente para encontrar o posicionamento ideal de RNs, considerando a localização geográfica e a trajetória de mobilidade de VANTs, que fornece a disseminação de vídeo com suporte a QoE. No entanto, até agora nem todas essas características-chave foram fornecidas em um mecanismo de controle de topologia unificado.

CAPÍTULO 4

MobiFANET: Mecanismo de Controle de Topologia em FANETs para Transmissões Multimídia em Tempo Real com Suporte à Qualidade de Experiência.

4.1 Visão geral

Esta seção descreve o mecanismo de controle de topologia MobiFANET proposto para apoiar as transmissões de vídeo em tempo real com suporte a QoE. O MobiFANET trabalha em conjunto com qualquer protocolo de roteamento geográfico para permitir a transmissão de vídeo em ambientes FANET. O mecanismo proposto considera a localização do nó e o modelo de mobilidade FANET para calcular a localização ideal do nó retransmissor, excluindo falhas de rota e *void area's* causadas por movimentos de VANTs. Nesse sentido, mantemos a conectividade entre os nós de um determinado caminho, amenizando os efeitos da mobilidade VANT, evitando falhas de comunicação, atrasos e *void area*, reduzindo a perda de pacotes durante as transmissões de vídeo.

4.2 Modelo de Sistema e Rede

De acordo com o que foi descrito no Capítulo 2, a utilização de VANTs de pequeno porte proporciona diversas vantagens às aplicações em cenários militares ou civis. Tais vantagens estão relacionadas principalmente ao custo de implantação, por serem tecnologias de baixo custo; a abrangência de cobertura no ambiente, devido sua alta mo-

bilidade, podendo assim, monitorar uma área mais facilmente; a escalabilidade, como consequência da miniaturização dos equipamentos eletrônicos; e a eficácia nas missões. Tais características são importantes para aplicações multimídia em cenários de monitoramento ambiental ou de desastres. Para que a rede apresente a robustez necessária para a entrega de vídeos com qualidade ao usuário, é necessário que suas características específicas sejam consideradas e seu dinamismo não seja ignorado no projeto de novas soluções.

Ainda no Capítulo 2 foram apresentados diversos modelos de mobilidade, onde verificamos que o *Random Waypoint*, *Gauss-Markov* e o Modelo Semi-Aleatório Circular Aleatório não são adequados para VANTs, uma vez que eles não mudam a sua direção e velocidade de mobilidade rapidamente ao mesmo tempo e não podem ficar por um tempo no mesmo ponto. No modelo de mobilidade baseado em Plano de Missão, os VANTs estão cientes de toda a trajetória, geralmente planejada com antecedência, o que significa que os VANTs viajam por um caminho predeterminado. Finalmente, o modelo de mobilidade *Paparazzi* permite que os VANTs se adaptem a qualquer tipo de missão, uma vez que esse modelo de mobilidade agrupa a maioria dos movimentos possíveis de VANT, mudando a probabilidade de cada tipo de movimento conforme necessário (BOUACHIR et al., 2014).

Uma FANET pode ser implantada para monitorar uma determinada área, quando uma infraestrutura de rede fixa padrão não estiver disponível devido a um desastre natural, como um terremoto ou furacão, conforme ilustrado na Figura 11. Neste cenário, o suporte ao conteúdo multimídia habilita as pessoas no centro de controle para tomar medidas, a fim de explorar uma área perigosa onde os socorristas são incapazes de chegar facilmente e rapidamente. Considera-se n VANTs (nós) implantados na área monitorada, e cada VANT tem uma identidade individual ($i \in [1, n]$). Esses VANTs são representados em um grafo dinâmico $G(V, E)$, onde os vértices $V = v_1, \dots, v_n$ significa um conjunto finito de VANTs, e arestas $E = e_1, \dots, e_n$ constrói um conjunto finito de ligações sem fio assimétricas entre 1-salto VANT (v_i) vizinho. Denominamos $N(v_i) \subset V$ como um subconjunto de todos os vizinhos 1-salto dentro do alcance de rádio (RR) de um determinado VANT v_i .

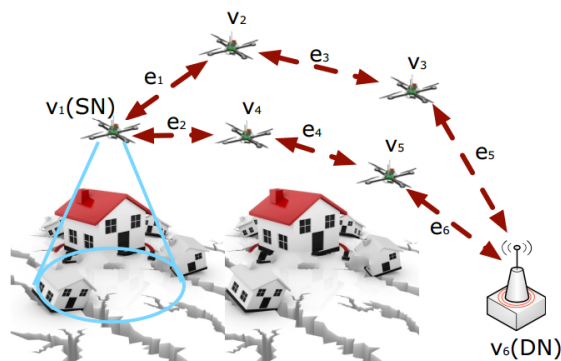


Figura 11: FANET Multimídia Implantada em uma Situação de Emergência

Fonte: Adaptado de (ROSÁRIO et al., 2014)

Além disso, cada v_i está equipado com uma câmera, um codificador de imagem,

um transceptor de rádio e fornecimento de energia limitada. Assim que um dado v_i detecta um evento, ele deve capturar e disseminar o vídeo de alta relevância desse evento. Este nó é considerado como nó de origem (SN) $\subset V$, que transmite fluxos de vídeo em tempo real para o nó de destino (DN) $\subset V$ de uma forma multi-salto. Mais especificamente, assumimos um cenário FANET composto por um DN estático equipado com um transceptor de rádio, um decodificador de imagem e energia ilimitada. O DN é responsável por receber o vídeo para posterior processamento, análise e divulgação. Cada v_i tem uma fila (Q) com uma capacidade máxima de fila (Q_{max}) e a política de fila agenda a transmissão de pacotes usando o algoritmo *First In First Out (FIFO)* e descarta pacotes usando o algoritmo *Drop Tail*. Cada v_i está ciente de sua própria localização (X_i, Y_i) por meio de qualquer sistema de posicionamento, como GPS, Galileo, ou qualquer outro serviço de posicionamento. Cada (v_i) voa com uma velocidade dada s_i variando entre um limite de velocidade mínimo (por exemplo, s_{min}) e um máximo (por exemplo, s_{max}).

4.3 A Arquitetura do MobiFANET

A arquitetura MobiFANET é composta pelos módulos de Mobilidade e de Localização Ideal, que interagem com o protocolo de aplicação, o protocolo de roteamento e o gerenciador de mobilidade. A Figura 12 mostra os componentes do MobiFANET, bem como sua interação com o protocolo de roteamento com reconhecimento geográfico e o gerenciador de mobilidade. O protocolo de aplicação detecta um evento, codifica e decodifica o vídeo. O protocolo de roteamento estabelece o caminho $P_{SN,DN}$, entre SN e DN através de vários RNs ($F_i \in V$) para transmissão de vídeo.

VANTs u_i pode considerar qualquer tipo de protocolo de roteamento com reconhecimento geográfico para estabelecer um caminho $P_{SN,DN}$ entre SN e DN através de vários nós de retransmissão RN_i . MobiFANET estabelece o local de retransmissão ideal e o movimento de VANT, levando em consideração a localização do nó e o modelo de mobilidade FANET. É importante destacar que o MobiFANET funciona em conjunto com qualquer protocolo de roteamento geográfico, uma vez que a maioria dos protocolos de roteamento do geográfico fornece informações de localização sem sobrecarga adicional. O gerenciador de mobilidade permite que os VANTs voem seguindo qualquer modelo de mobilidade. O MobiFANET calcula a posição ideal do RN e seleciona o movimento ideal do VANT.

Em cenários de FANET de segurança, os VANT voam seguindo qualquer um dos movimentos do modelo de mobilidade *Paparazzi* para procurar e detectar um evento no ambiente. Um dado UAV v_i , ou seja, o SN , captura e transmite vídeos ao DN através de múltiplos nós de retransmissão RN_i detectando um evento no ambiente monitorado. Além disso, a camada de aplicação do SN inicia o módulo de movimento de mobilidade MobiFANET para selecionar a trajetória de movimentação de SN ideal para capturar vídeos relevantes de alto nível do evento detectado. Mais especificamente, o movimento de mobilidade MobiFANET considera que o SN deve voar seguindo os movimentos *Stay-*

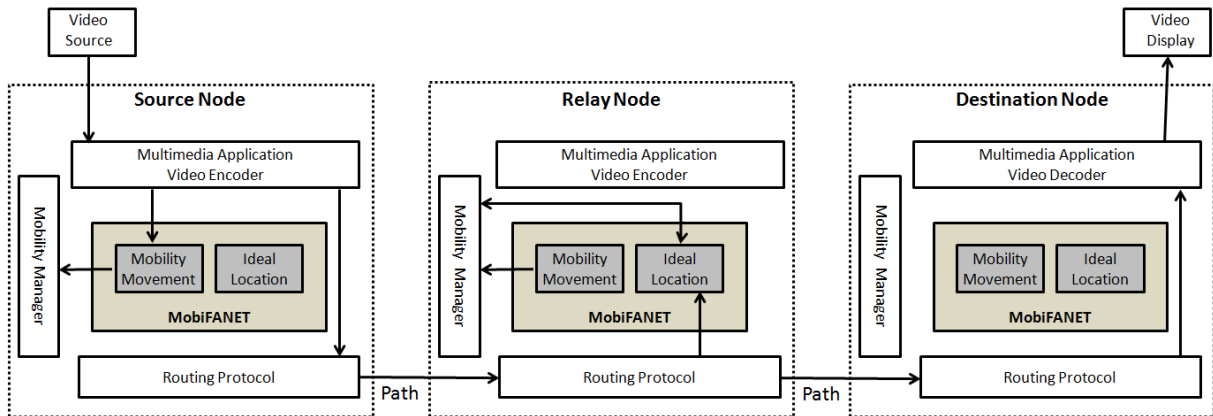


Figura 12: Componentes do MobiFANET e sua interação com um protocolo de roteamento e um gerenciador de mobilidade

Fonte: Autor

At, *Oight* ou *Oval*, uma vez que essas trajetórias permitem que o *SN* voe em torno de uma posição fixa e, assim, pode capturar alto vídeo relevante de um dado evento, já que nestes movimentos o *RN* não se distanciará do local em que o evento está sendo capturado. Finalmente, o módulo de movimento de mobilidade informa o gerenciador de mobilidade da trajetória VANT selecionada para fazer o VANT voar seguindo essa trajetória.

Assim que um determinado $RN \in F_i$ se tornar parte do caminho $P_{SN,DN}$, ele inicia o módulo de Localização Ideal no mecanismo MobiFANET para calcular sua localização ideal, para encaminhar os pacotes sem interromper a comunicação com seu último salto, bem como voar para uma *void area*. O módulo de localização ideal requer o local de último salto do protocolo de roteamento e também a localização atual e os parâmetros de voo do gerenciador de mobilidade para calcular a localização ideal. O módulo de Mobilidade permite que o VANT se mova para esta posição ideal, e faça-o voar seguindo a trajetória *Stay-At*. Isso mantém a conectividade dos nós que pertencem ao caminho $P_{SN,DN}$, reduzindo a taxa de perda de pacotes e aumentando o nível de qualidade do vídeo.

4.4 Operações de Controle de Topologia MobiFANET

Esta subseção detalha as principais operações do mecanismo MobiFANET. Em particular, cada F_i de um determinado caminho $P_{SN,DN}$ calcula sua localização ideal (X'_i, Y'_i) com base na Eq. 4.1 e 4.2, respectivamente. Mais especificamente, o módulo de Localização Ideal considera as seguintes métricas para calcular a localização ideal do nó de retransmissão: localização de *SN* (X_{SN}, Y_{SN}) , localização *DN* (X_{DN}, Y_{DN}) , alcance de rádio (*RR*), alcance do movimento *Stay-At* (*MR*) e a distância Euclidiana ($dist_{SN, DN}$) entre os nós *SN* e *DN*. O protocolo de roteamento geográfico fornece informações de localização *SN* e *DN*, e cada vi tem os mesmos valores *RR* e *MR*. O local ideal deve procurar reduzir o número de saltos, enquanto diminui falhas de rota e *void area's* causadas pelos

movimentos dos VANTs.

$$X'_i = X_{SN} - \frac{(RR - 2MR) \times (X_{SN} - X_{DN})}{dist_{SN,DN}} \quad (4.1)$$

$$Y'_i = Y_{SN} - \frac{(RR - 2MR) \times (Y_{SN} - Y_{DN})}{dist_{SN,DN}} \quad (4.2)$$

A Figura 13 mostra a localização ideal do RN com e sem considerar a localização geográfica e o modelo de mobilidade FANET. A localização ideal do RN deve ser o ponto na linha de SN para DN com $dist_{SN,F_i}$ igual ao alcance de rádio RR . Isto significa que F_i está dentro do alcance de rádio de SN e com a distância mais curta para o destino DN , reduzindo o número de saltos. Considerando a arquitetura proposta, o F_i voa até este ponto com a velocidade S_{max} , uma vez que o objetivo principal do mecanismo MobiFANET é colocar os RNs no local ideal para encaminhar os pacotes de vídeo com suporte QoE . Depois de alcançar a localização ideal, o F_i voa sobre este ponto seguindo o movimento *Stay-At* na velocidade S_i . No entanto, neste caso, F_i sai do alcance de rádio do seu último salto SN , como ilustrado na Figura 13a.

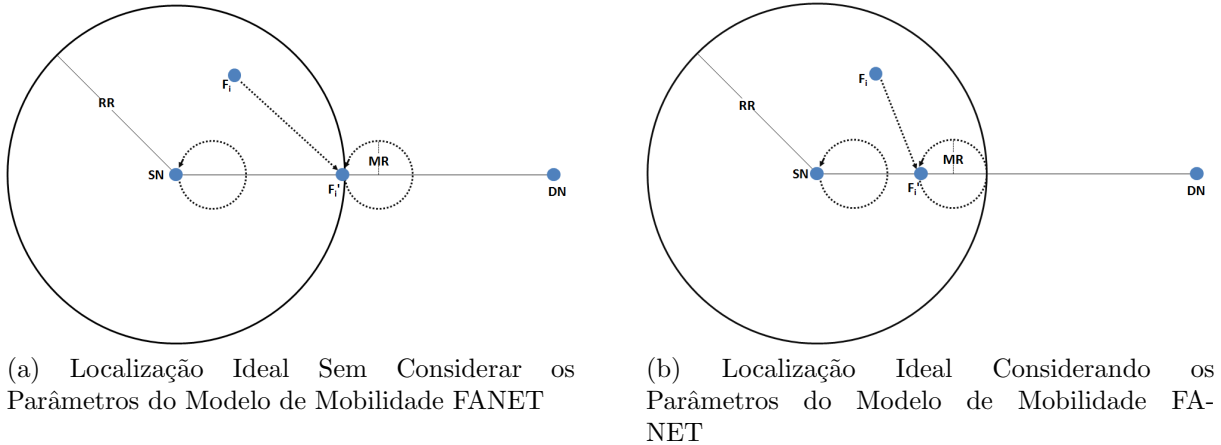


Figura 13: Localização Ideal para Retransmissor Baseado em Localização Geográficos e no Modelo de Mobilidade FANET

Fonte: Autor

Para lidar com esse desafio, o módulo de Localização Ideal considera os parâmetros do modelo de mobilidade FANET para calcular a localização ideal do RN. Especificamente, consideramos o diâmetro de movimento do *Stay-At* (isto é, $2 \times MR$) para reduzir este valor a partir do ponto ideal. Fazendo isso, F_i está dentro do alcance de rádio de SN , enquanto voa seguindo o movimento *Stay-At*, como mostrado na Figura 13b. Um dado F_i leva um tempo t para se mover para a sua posição ideal F'_i . No entanto, a longa distância $dist_{F_i,F'_i}$ aumenta o tempo t necessário para alcançar a posição ideal, reduzindo o desempenho do protocolo de roteamento. Assim, o módulo de Localização Ideal deve encontrar

uma posição de RN alternativa (X'_i, Y'_i) com base na Eq. 4.3 e 4.4, respectivamente.

$$X'_i \pm d \quad (4.3)$$

$$Y'_i \pm d \quad (4.4)$$

O local ideal alternativo é um ponto entre a localização ideal do RN e o local atual, o que também aumenta o desempenho da disseminação do vídeo ao mitigar os problemas relacionados à mobilidade do VANT. A Figura 14 ilustra os parâmetros usados para calcular a localização de retransmissão alternativa, bem como a localização de retransmissão alternativa para um dado F_i . O Algoritmo 1 descreve as principais operações do módulo Localização Ideal.

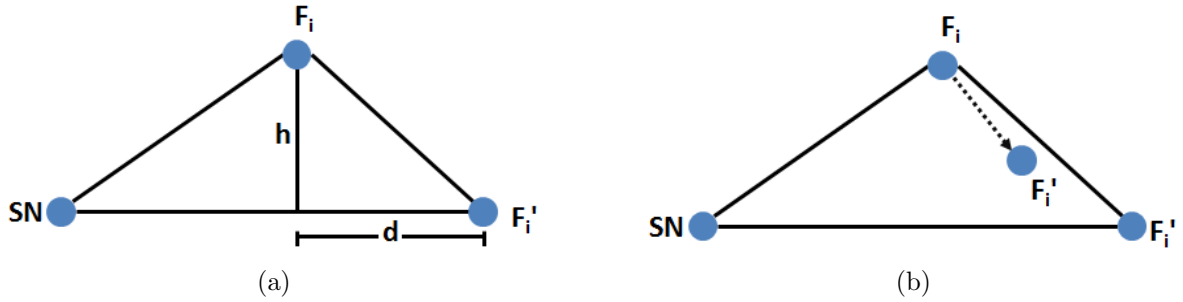


Figura 14: Localização e Parâmetros de Retransmissor Alternativos

Fonte: Autor

Algorithm 1 Módulo de Localização Ideal

Evento: Definindo um caminho para encaminhamento a partir do SN até DN

- 1: $X'_{F_i} \leftarrow$ (Eq. 4.1)
 - 2: $Y'_{F_i} \leftarrow$ (Eq. 4.2)
 - 3: $t \leftarrow \frac{dist_{F_i, F'_i}}{S_{max}}$
 - 4: **se** $t > t_{th}$ **então**
 - 5: $X'_{F_i} \leftarrow$ (Eq. 4.3)
 - 6: $Y'_{F_i} \leftarrow$ (Eq. 4.4)
 - 7: **fim se**
 - 8: `MobilityMovement.moveTo($X'_{F_i}, Y'_{F_i}, S_{max}$)`
 - 9: Após alcançar F'_i , o Módulo de Movimento de Mobilidade atribui ao v_i o movimento *Stay-At* na velocidade de S_i .
-

4.4.1 Casos de uso

A Figura 15 mostra os VANTs que voam seguindo o modelo de mobilidade *Papazzini* para procurar um evento (Figura 15a), e um conjunto de VANTs parte de uma determinada $P_{SN, DN}$ colocado na posição ideal para encaminhar o vídeo (Figura 15b). A

Figura 15a mostra os VANTs que voam para detectar um evento seguindo os movimentos de *Paparazzi Stay-At*, *Way-Point*, *Eight*, *Scan* e *Oval*, isto é, v_3 , v_2 , v_8 , v_1 e v_4 respectivamente. Na Figura 15b, a aplicação de v_1 detectou um evento, tornou-se *SN*, e captura o vídeo. O módulo de Movimento de v_1 selecionou o movimento *Stay-At* para voar e capturar o vídeo mais relevante do evento. Os módulos de localização ideal de nós de encaminhamento de $P_{SN, DN}$ (isto é, V_2 , V_7 , V_4) calcularam o local de retransmissão ótimo para reduzir os efeitos do modelo de mobilidade *Paparazzi* e proporcionar a disseminação de vídeo com suporte de *QoE*. O módulo de Movimento dos *RNs* os faz voar seguindo as trajetórias de movimento *Stay-At*. Os outros nós estão voando para procurar outro evento no ambiente.

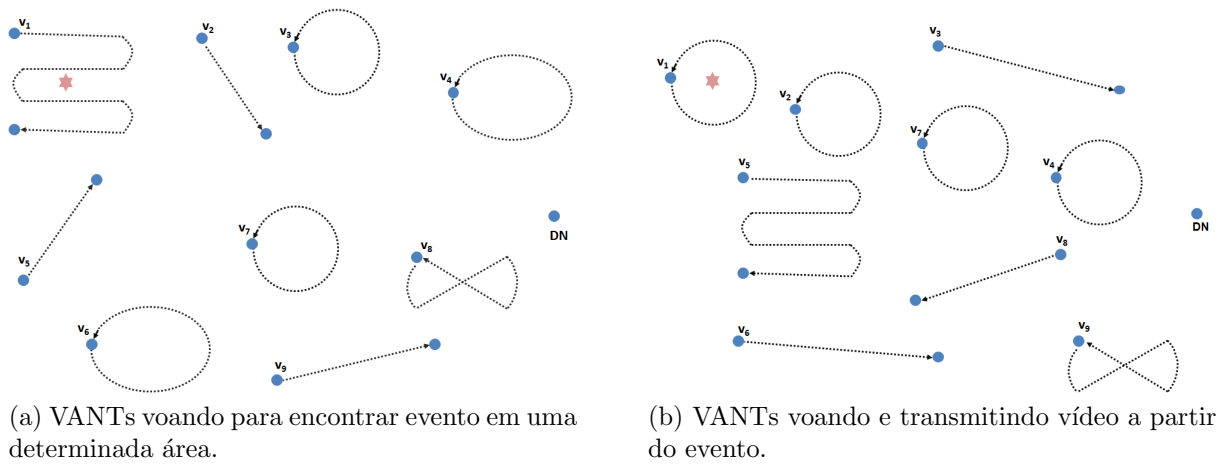


Figura 15: VANTs voando no Ambiente

Fonte: Autor

4.5 Conclusões do Capítulo

Esta seção descreveu o mecanismo de controle de topologia MobiFANET proposto para apoiar as transmissões de vídeo em tempo real com suporte a QoE. Assim também como suas características e suas operações de controle de topologia.

CAPÍTULO 5

Avaliação de desempenho

Este capítulo é responsável por descrever a avaliação de desempenho do mecanismo de controle de topologia MobiFANET para a disseminação de vídeos em um cenário *FANET*. Para isso será apresentada a metodologia utilizada para as simulações, isto é, o ambiente e o cenário de avaliação. Avaliamos o impacto de diferentes velocidades e densidade de VANTs no nível de qualidade de vídeo utilizando métricas de avaliação de qualidade do vídeo: *SSIM* e *VQM*.

5.1 Descrição da Simulação e Métricas

O MobiFANET foi implementado no framework do OMNET ++ *Mobile Multi-Media Wireless Sensor Network* (M3WSN). Os resultados são gerados em cima da média de 33 simulações rodadas com diferentes ordens geradas aleatoriamente para fornecer um intervalo de confiança de 95%. As simulações duram 200 segundos e são executadas com o modelo de perda de caminho de somreamento lognormal. Definimos os parâmetros de simulação para permitir variações temporais de canal sem fio, assimetria de enlace e alcances de rádio irregulares, conforme esperado em um cenário *FANET* real (??).

As análises consideram um cenário *FANET* composto por 30 e 40 *VANTs*, e um nó de destino (*DN*) localizado nas coordenadas (75, 0, 0) de (x,y,z) respectivamente. Os *VANT* estão se movendo seguindo o modelo de mobilidade *Paparazzi* (BOUACHIR et al., 2014) sobre todo o terreno plano de 150m x 150m. Também definimos quatro intervalos de limite de velocidade: i) de 1m/s a 5m/s; ii) de 5m/s a 10m/s; iii) de 10m/s a 15m/s; e iv) de 15m/s a 20m/s. Além disso, os nós estão equipados com rádio IEEE 802.11g e potência de transmissão de 12dBm, resultando em um alcance de transmissão nominal de 55m os vídeos são transmitidos de 1 a 4 saltos dependendo do protocolo de roteamento. Eles também dependem do protocolo MAC CSMA/CA sem mensagens

RTS/CTS e retransmissões, em um mecanismo *drop tail* para descartar pacotes em caso de estouro de *buffer* e em um mecanismo de redundância com *QoE* (ROSÁRIO et al., 2014) para adicionar pacotes redundantes apenas a quadros de prioridade na camada de aplicação.

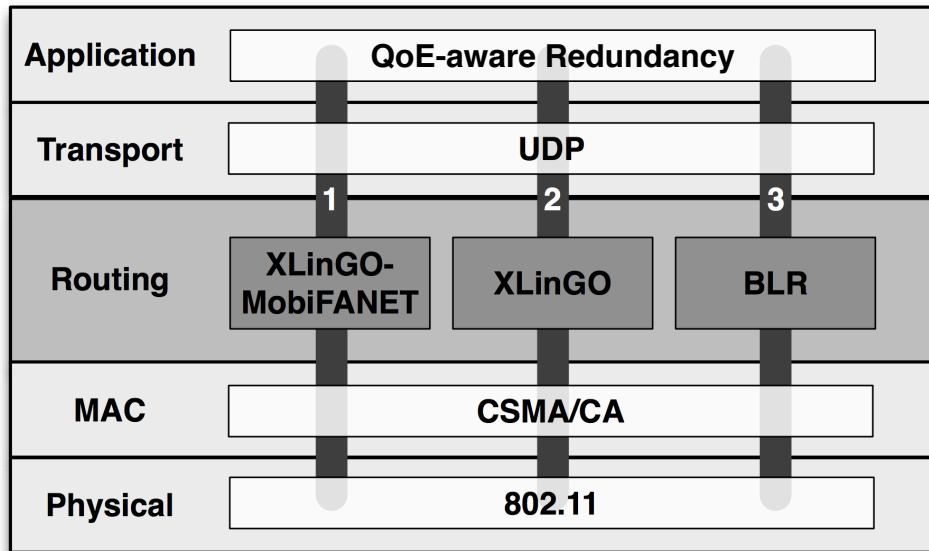


Figura 16: Cenário de simulação

Fonte: Autor

Na simulação, agendamos situações de eventos em local diferente, de modo que quando o *SN* detecta um evento, ele começa a disseminar um vídeo sobre o evento. Cada *SN* transmitiu sequência de vídeo com diferentes características de vídeo, isto é, Container, UAV_1 e UAV_2 . Esses vídeos são baixados da biblioteca de vídeo YUV e do YouTube (XIPH.ORG,). Mais especificamente, a sequência de vídeo do Container tem características semelhantes como se um VANT estivesse pairando em uma determinada área para capturar o vídeo, o que significa que há uma pequena região em movimento sobre um fundo estático. As sequências de vídeo UAV_1 e UAV_2 têm níveis de movimento e complexidade semelhantes aos de um VANT capturando fluxos de vídeo enquanto está voando, mas o UAV_1 tem um nível de movimento maior que o UAV_2 causado pela instabilidade do VANT durante o voo. Codificamos esses vídeos com um codec *H.264* a 300 kbps, 30 quadros por segundo, tamanho GoP de 20 quadros e formato intermediário comum (352 x 288). O decodificador aplica um método *Frame-Copy* para ocultar erro para substituir cada *frame* perdido com o último recebido, reduzindo a perda de quadros e mantendo a qualidade de vídeo.

Realizamos simulações com três configurações diferentes para analisar o seu impacto na entrega de vídeos com bom nível de qualidade. Primeiro, utilizamos o BLR como protocolo de roteamento e sem qualquer mecanismo de controle de topologia. Posteriormente, consideramos o XLinGO como protocolo de roteamento e sem qualquer mecanismo de controle de topologia. Finalmente, levamos em conta XLinGO como protocolo de roteamento e com o mecanismo *MobiFANET* nomeando-o assim como XLinGOMobiFANET.

Tabela 1: Parâmetros de Simulação

Parâmetros	Valores
Área de Simulação	150 × 150
Tempo de Simulação	200 segundos
Números de nós	{30 e 40}
Velocidade dos Nós	{1–5, 5–10, 10–15, e 15–20m/s}
Radio	IEEE 802.11g
Alcance de transmissão	67 m
Sequência de Vídeos	Container, UAV_1 , and UAV_2
Tipo de Codificação	H.264

Utilizamos a ferramenta de medição de qualidade de vídeo *MSU (VQMT)* para medir os valores *SSIM* e *VQM* para cada vídeo transmitido. Particularmente, BLR torna a decisão de roteamento baseada apenas na localização geográfica, enquanto o XLinGO considera um conjunto de camadas cruzadas, vídeo e parâmetros relacionados ao humano, nomeadamente o comprimento da fila, a qualidade do enlace, localização geográfica e energia residual. Finalmente, XLinGOMobiFANET considera XLinGO como protocolo de roteamento acoplado com o mecanismo de posicionamento do relé proposto.

5.2 Resultados

Foi avaliado o nível de qualidade, isto é, *SSIM* e *VQM*, dos vídeos entregues no ND para um cenário composto por 30 VANTs movendo-se em diferentes limites de velocidade. A Figura 17a mostra o *SSIM* dos vídeos transmitidos via BLR, XLinGO e *MobiFANET*. Desta forma, podemos analisar o impacto da velocidade de movimento no nível final de qualidade de vídeo.

Analisando os resultados da Figura 17a, concluímos que o *MobiFANET* forneceu vídeos com um *SSIM* alto e constante em comparação com XLinGO e BLR independentemente da velocidade de movimento. Por exemplo, os vídeos transmitidos via *MobiFANET* aumentaram o *SSIM* em 13% e 10% em comparação com BLR e XLinGO, respectivamente. Isso ocorre porque o *MobiFANET* calcula o local de retransmissão ideal, o que reduz os efeitos da mobilidade e velocidade do VANT no nível de qualidade de vídeo. O BLR tem *SSIM* pobres comparado ao XLinGO e *MobiFANET*, uma vez que BLR só considera informações geográficas para calcular o *DFD*, e, portanto, BLR seleciona os *RNs* mais próximo ao *DN*. Devido à falta de confiabilidade de canais sem fio, o nó mais distante pode sofrer uma conexão ruim, aumentando a taxa de perda de pacotes para BLR. O XLinGO oferece vídeos com melhor *SSIM* comparado ao BLR, uma vez que XLinGO calcula o *DFD* com base em métricas múltiplas e, assim, seleciona os nós de retransmissão mais próximos do *DN* com um enlace confiável, bem como a capacidade suficiente de fila e energia para encaminhar pacotes. Finalmente, observamos que o nível de qualidade dos vídeos entregues pelo BLR e XLinGO diminui em 10% assim que os limites de velocidade aumentam.

A Figura 17b mostra o VQM para vídeos entregues via BLR, XLinGO e MobiFANET. Em contraste com os valores $SSIM$, baixos valores de VQM significam maior nível de qualidade de vídeo. Os resultados VQM confirmam os benefícios de considerar um mecanismo de controle de topologia para mitigar os efeitos da mobilidade de $VANT$ para evitar falhas de comunicação, atrasos e void area. Esses problemas aumentam a perda de quadros durante as transmissões de vídeo. Por exemplo, o MobiFANET reduziu a perda global de quadros em 50% em comparação com BLR e XLinGO. Mais especificamente, o MobiFANET reduziu as perdas de quadros I e P em 50% em comparação com BLR e XLinGO. Desta forma, o MobiFANET transmitiu quadros de prioridade com elevada probabilidade de entrega em comparação com BLR e XLinGO, e conseqüentemente aumenta o nível de qualidade de vídeo. Portanto, o MobiFANET fornece um ganho de VQM de 40% e 25% em comparação com BLR e XLinGO, respectivamente.

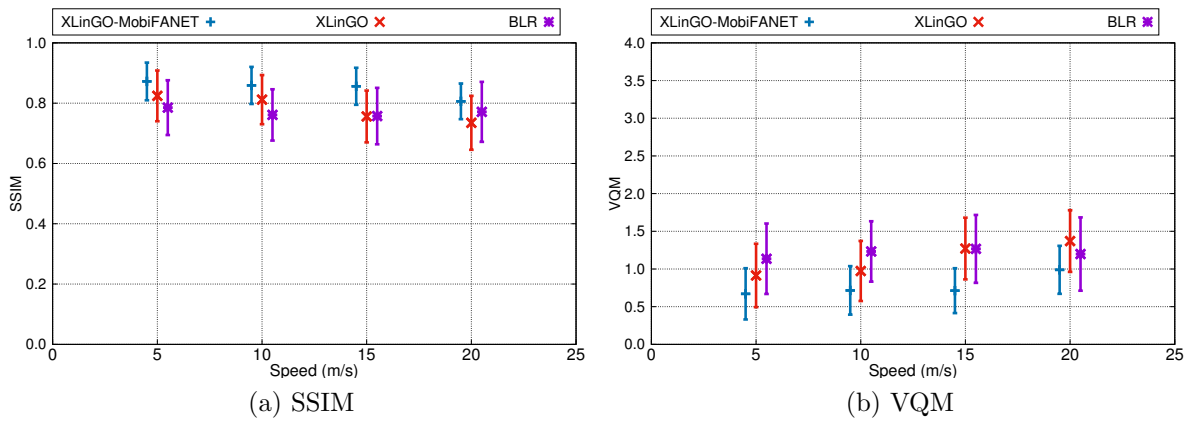


Figura 17: SSIM e VQM em Cenário Composto por 30 Vants com Diferentes Velocidades

Fonte: Autor

Para o cenário de 30 nós, a Figura 18c mostra a Quantidade de Rotas no BLR, XLinGO e MobiFANET é possível observar que o MobiFANET não teve muitas rotas, em média apenas uma rota o que conseqüentemente o dá um tempo de transmissão maior em relação aos demais. Através das simulações foi possível obter também o tempo de transmissão do BLR, XLinGO e MobiFANET mostrado na Figura 18a. É possível observar que o MobiFANET conseguiu manter um a transmissão por cerca de 11,5 segundos na maioria das velocidades, devido à seleção da melhor posição para a retransmissão, enquanto os protocolos obtiveram um tempo médio de 2,5 segundos. Assim, dividido ao tempo de transmissão mais prolongado, uma taxa maior de pacotes foram transmitidos nas rotas como pode ser observado na Figura 18b. A taxa de pacotes transmitidos no MobiFANET foi consideravelmente maior que os demais obtendo em média 800 pacotes por rota, enquanto o BLR obteve cerca de 200 pacotes por rota e o XLinGO obteve em média 270 pacotes, como mostrado na 18b.

No cenário de 40 nós, os resultados são muito semelhantes como mostrado na Figura 19. As Figuras 19a e 19b ilustram o $SSIM$ e o VQM de vídeos transmitidos via BLR, XLinGO e MobiFANET num cenário $FANET$ composto por 40 $VANTs$ que voam a velocidades diferentes. Podemos comparar os resultados das Figuras 17a e 17b com as

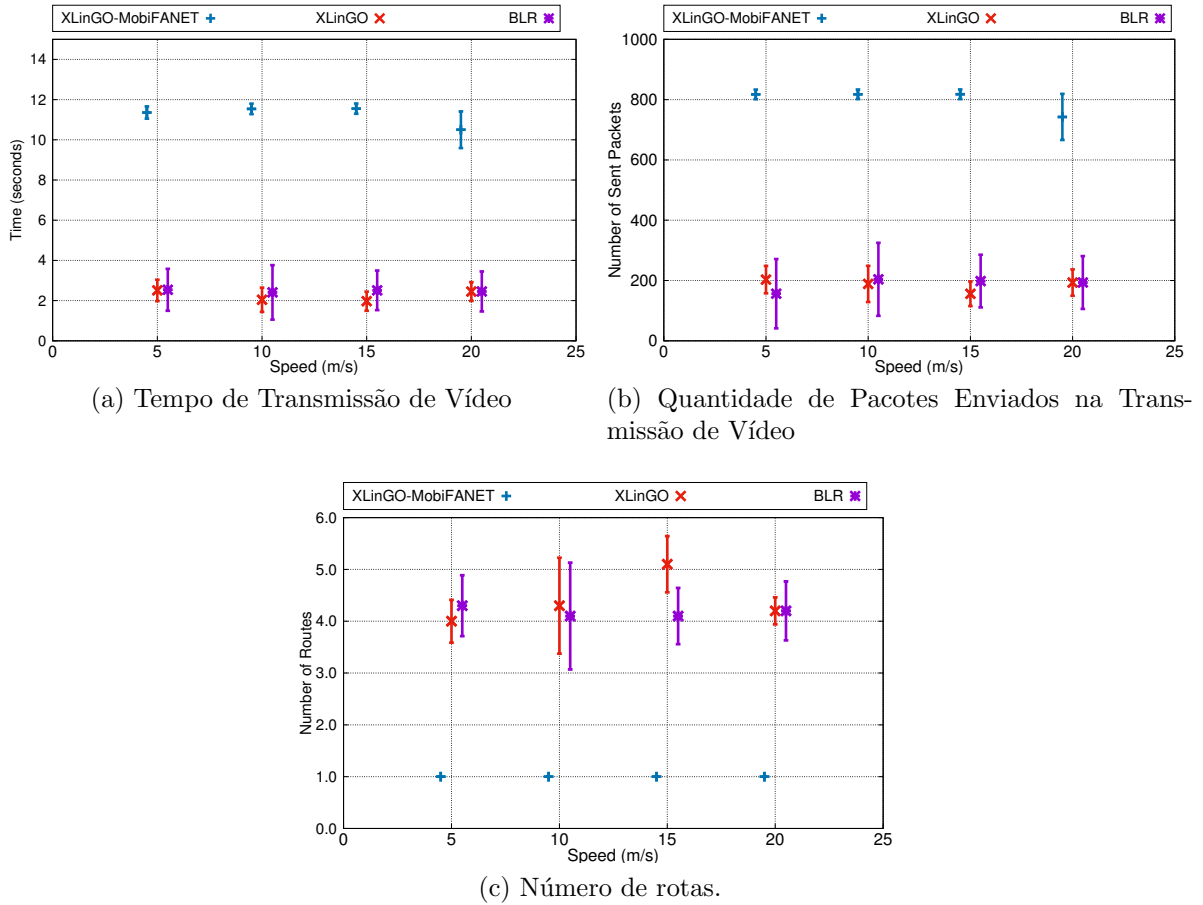


Figura 18: Cenário Composto por 30 Vants com Diferentes Velocidades

Fonte: Autor

Figuras 19a e 19b para analisar o impacto da densidade dos nós. Ao fazer isso, podemos ver que, em alguns casos, quando o número de nós aumenta, o impacto da mobilidade do nó no nível de qualidade de vídeo diminui para os protocolos BLR e XLinGO. Isso ocorre porque os nós têm mais vizinhos, o que aumenta a probabilidade de selecionar um RN confiável. Por outro lado, o nível de qualidade dos vídeos entregues pelo MobiFANET tem nível de qualidade semelhante, independentemente do número de $VANTs$, uma vez que o mecanismo proposto encontra um local ideal para posicionar os RNs .

Estes SSIM e VQM pobres para vídeos transmitidos via BLR e XLinGO em comparação com MobiFANET podem ser explicados pela posição ótima de retransmissão considerada pelo mecanismo proposto, aumentando a perda de pacotes e o atraso. Durante o estabelecimento da rota via XLinGO e BLR, o $VANT$ pode deixar de encontrar um vizinho que esteja mais próximo do DN do que ele próprio, devido a void areas. Além disso, durante a transmissão de vídeo via BLR e XLinGO, a mobilidade e velocidade dos $VANTs$ leva a falhas de rota, já que o RN se move mais rápido fora do alcance de transmissão de seu último salto, rompendo a conectividade de tais nós.

A Figura 20 mostra um quadro selecionado aleatoriamente a partir da sequência de vídeo $VANT_1$ transmitido por MobiFANET, XLinGO e BLR. O quadro #140 é o

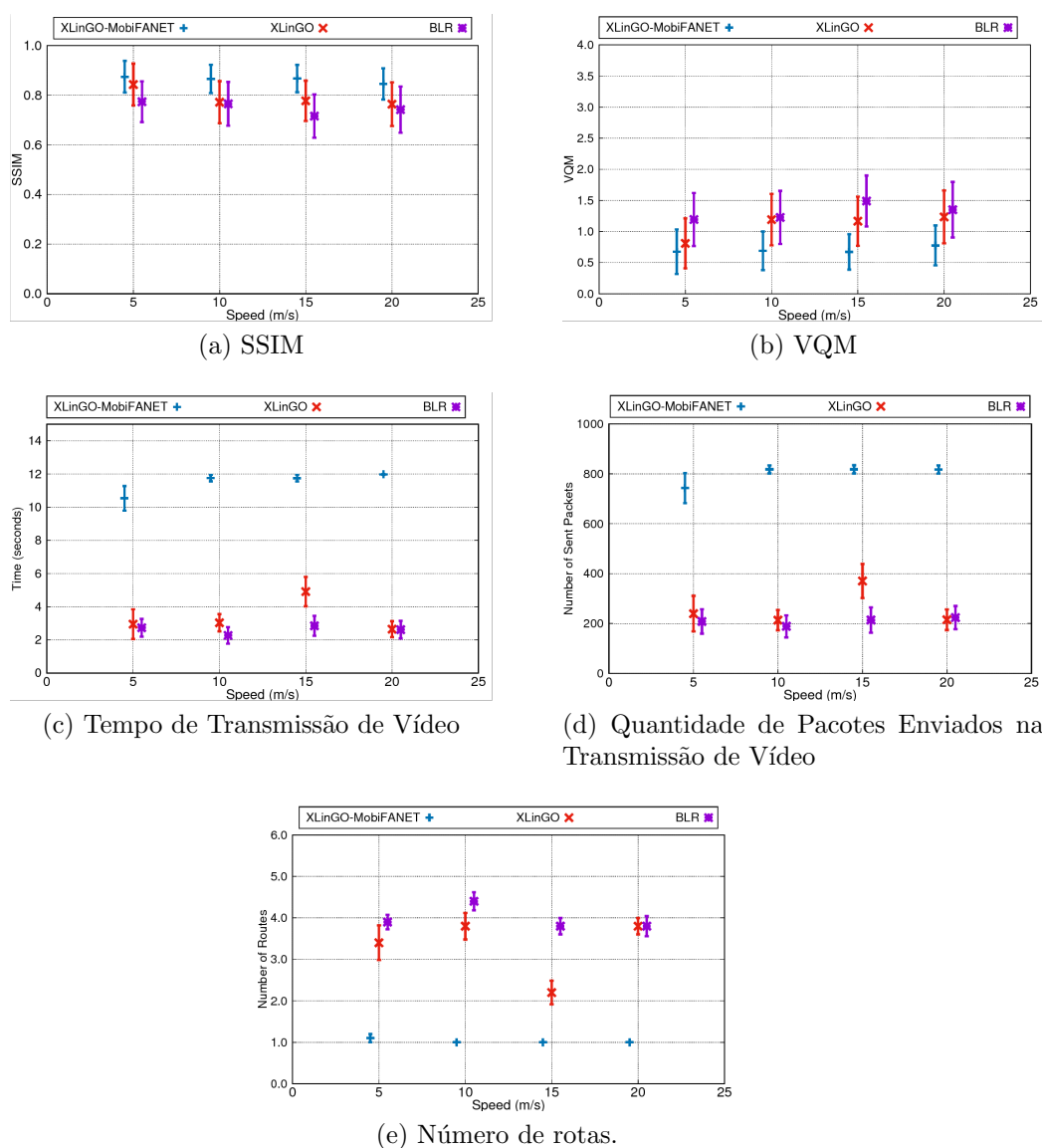


Figura 19: Cenário Composto por 40 Vants com Diferentes Velocidades

Fonte: Autor

momento em que a torre da igreja aparece na cena (como mostrado na Figura 20a). Este quadro transmitido via MobiFANET tem a mesma qualidade em relação ao quadro original, como pode ser visto na Figura 20d. Além das distorções nos quadros transmitidos através de XLinGO e BLR, os edifícios não aparecem na mesma posição em relação ao quadro original (como pode ser visto na Figura 20b e 20c, respectivamente). Isso ocorre porque o quadro #140 foi perdido, e o decodificador reconstruiu-o com base nos anteriormente recebidos.

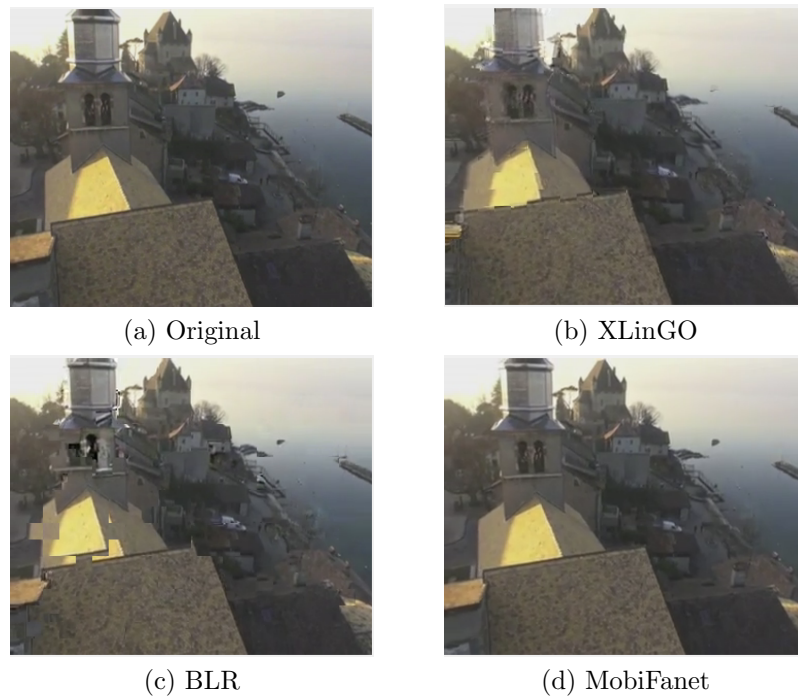


Figura 20: Frame #140 da Sequência de vídeo UAV_1 Transmitido por Diferentes Protocolos

Fonte: Autor

5.3 Conclusão do capítulo

Analisando o desempenho dos protocolos avaliados neste trabalho, foi possível comprovar que XLinGO e BLR apresentam uma pior performance quando comparados ao MobiFANET em cenários como os aqui representados com *VANTs* móveis, transmissões simultâneas, e vídeos com diferentes características e níveis de complexidade. Isso ocorre porque o MobiFANET calcula a posição ótima de retransmissão baseada na localização geográfica e no modelo de mobilidade do *VANT*, mantendo a conectividade da rede, ao mesmo tempo em que suporta transmissões multimídia em tempo real com QoE adequada. Este desempenho é desejável para muitas aplicações multimídia *FANET*, como segurança, monitoramento ambiental e recuperação de desastres naturais. Tais características não são providas pelos outros protocolos e são necessárias para as aplicações multimídia aqui abordadas.

CAPÍTULO 6

Conclusões

Este trabalho apresentou um mecanismo de controle de topologia, chamado MobiFANET. Este mecanismo funciona em conjunto com qualquer protocolo de roteamento geográfico para permitir a transmissão de vídeo em tempo real sobre ambientes FANETs com suporte QoE. O mecanismo MobiFANET considera a localização geográfica e o modelo de mobilidade FANET para calcular a localização ideal do RN. Este mecanismo foi implementado considerando o modelo de mobilidade *Paparazzi* que é um modelo desenvolvido baseado em movimentos aéreos reais de um VANT.

O mecanismo proposto visou manter a conectividade da rede através da mitigação dos efeitos da mobilidade VANT, evitando falhas de comunicação, atrasos e *void area*. Desta forma, o MobiFANET reduziu a perda de pacotes durante as transmissões de vídeo. As Simulações foram realizadas com diferentes cenários. A velocidade e o número de VANTs foram definidos como fatores. Desse modo variou-se a velocidade, na qual os VANTs iriam iniciar seus movimentos, em 4 intervalos: de 1 a 5 m/s; 5 a 10 m/s; 10 a 15 m/s e 15 a 20 m/s, e o número de VANTs em 30 e 40. Além disso utilizou-se quatro vídeos distintos para a simulação de uma transmissão multimídia.

Os resultados da simulação mostram que o MobiFANET reposiciona os VANTs encontrando uma melhor localização para os nós retransmissores, conseqüentemente um ganho SSIM de aproximadamente 10% e um ganho VQM de 30% em comparação com BLR e XLinGO. Assim, com base nos resultados da simulação, concluímos que o MobiFANET fornece transmissão multimídia com suporte QoE, conforme exigido em muitos cenários FANET de segurança.

Como trabalhos futuros, para dar continuidade à proposta do trabalho e melhorar os resultados alcançados até o presente momento, pretende-se analisar e implementar abordagens com algoritmos de otimização e destinos móveis, tornando o cenário ainda mais desafiador, uma vez que simula eventos do cotidiano, onde o conteúdo de vídeo

seria retransmitido em tempo real às equipes de resgate (Ambulâncias, Caminhões de Bombeiros, etc), agilizando o atendimento.

Como fruto desse trabalho foi publicado um artigo com qualis B1:
Rosário, Danilo ; SOUZA FILHO, J. A. ; Rosário, D. ; Santos, A. ; Gerla, M. . A Relay Placement Mechanism Based on UAV Mobility for Satisfactory Video Transmissions. In Proceedings of the 16th Annual Mediterranean Ad Hoc Networking Workshop (MED-HOC-NET), 2017, Budva, Montenegro.

Referências

- BEGAZO, D. C.; RODRÍGUEZ, D. Z.; RAMÍREZ, M. A. Avaliação de qualidade de vídeo sobre uma rede ip usando métricas objetivas. In: *Conferência Iberoamericana em Sistema, Cibernética e Informática CISCI*. [S.l.: s.n.], 2011. p. 226–229. Citado na página 15.
- BEKMEZCI, I.; SAHINGOZ, O. K.; TEMEL, Ş. Flying ad-hoc networks (fanets): A survey. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 11, n. 3, p. 1254–1270, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 1, 6, 7 e 8.
- BOUACHIR, O. et al. A mobility model for uav ad hoc network. In: IEEE. *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2014 International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 383–388. Citado 6 vezes nas páginas 9, 12, 13, 15, 22 e 28.
- BRAUN, T.; HEISSENBÜTTEL, M.; ROTH, T. Performance of the beacon-less routing protocol in realistic scenarios. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 8, n. 1, p. 96–107, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 17.
- CAMP, T.; BOLENG, J.; DAVIES, V. A survey of mobility models for ad hoc network research. *Wireless communications and mobile computing*, Wiley Online Library, v. 2, n. 5, p. 483–502, 2002. Citado 3 vezes nas páginas 9, 11 e 12.
- CHO, A. et al. Wind estimation and airspeed calibration using a uav with a single-antenna gps receiver and pitot tube. *IEEE transactions on aerospace and electronic systems*, IEEE, v. 47, n. 1, p. 109–117, 2011. Citado na página 10.
- DENGIZ, O.; KONAK, A.; SMITH, A. E. Connectivity management in mobile ad hoc networks using particle swarm optimization. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 9, n. 7, p. 1312–1326, 2011. Citado na página 19.
- ELARABAWY, A.; GELL, D.; STANWOOD, K. L. *Video streaming quality of experience degradation control using a video quality metric*. [S.l.]: Google Patents, 2017. US Patent 9,538,220. Citado na página 15.
- FREW, E.; LAWRENCE, D. Cooperative stand-off tracking of moving targets by a team of autonomous aircraft. In: *AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference and Exhibit*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 6363. Citado na página 11.

- HANSCOM, A.; BEDFORD, M. Unmanned aircraft system (uas) service demand 2015-2035. 2015. Citado na página 1.
- HAYAT, S.; YANMAZ, E.; MUZAFFAR, R. Survey on Unmanned Aerial Vehicle Networks for Civil Applications: A Communications Viewpoint. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, v. 18, n. 4, p. 2624–2661, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 15.
- HONG, X. et al. A group mobility model for ad hoc wireless networks. In: ACM. *Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems*. [S.l.], 1999. p. 53–60. Citado na página 19.
- HU, M. et al. Design and analysis of a beacon-less routing protocol for large volume content dissemination in vehicular ad hoc networks. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 16, n. 11, p. 1834, 2016. Citado na página 2.
- HYTTIÄ, E.; VIRTAMO, J. Random waypoint model in n-dimensional space. *Operations Research Letters*, Elsevier, v. 33, n. 6, p. 567–571, 2005. Citado na página 9.
- KUMARI, K.; MAAKAR, S.; SAH, B. A brief survey of mobility model for fanet. *National Conference on Innovative Trends in Computer Science Engineering*, p. 3, 2015. Citado 4 vezes nas páginas 9, 10, 11 e 12.
- LIOTOU, E. et al. Quality of Experience Management in Mobile Cellular Networks: Key Issues and Design Challenges. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 53, n. 7, p. 145–153, 2015. Citado na página 2.
- MAGÁN-CARRIÓN, R. et al. Optimal relay placement in multi-hop wireless networks. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 46, p. 23–36, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 4.
- MAIA, O. B.; YEHIA, H. C.; ERRICO, L. de. A Concise Review of the Quality of Experience Assessment for Video Streaming. *Computer Communications*, Elsevier, v. 57, p. 1–12, 2015. Citado na página 2.
- MAIA, O. B.; YEHIA, H. C.; ERRICO, L. de. A concise review of the quality of experience assessment for video streaming. *Computer Communications*, Elsevier, v. 57, p. 1–12, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 13.
- MAXA, J.-A.; MAHMOUD, M. S. B.; LARRIEU, N. Secure routing protocol design for uav ad hoc networks. In: IEEE. *Digital Avionics Systems Conference (DASC), 2015 IEEE/AIAA 34th*. [S.l.], 2015. p. 4A5–1. Citado na página 2.
- MAZA, I. et al. Experimental results in multi-uav coordination for disaster management and civil security applications. *Journal of intelligent & robotic systems*, Springer, v. 61, n. 1, p. 563–585, 2011. Citado na página 10.
- MOZAFFARI, M. et al. Efficient deployment of multiple unmanned aerial vehicles for optimal wireless coverage. *IEEE Communications Letters*, IEEE, v. 20, n. 8, p. 1647–1650, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 6 e 20.
- ROSÁRIO, D. et al. A beaconless opportunistic routing based on a cross-layer approach for efficient video dissemination in mobile multimedia iot applications. *Computer Communications*, Elsevier, v. 45, p. 21–31, 2014. Citado 5 vezes nas páginas 2, 14, 18, 22 e 29.

- ROSARIO, D. Lima do; BRAUN, T. *Cross-Layer Optimizations for Multimedia Distribution over Wireless Multimedia Sensor Networks and Flying Ad-Hoc Networks with Quality of Experience Support*. Tese (Doutorado) — Federal University of Para/University of Bern, 2014. Citado na página 18.
- SAHINGOZ, O. K. Mobile networking with uavs: opportunities and challenges. In: IEEE. *Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 2013 International Conference on*. [S.l.], 2013. p. 933–941. Citado na página 2.
- SUN, Z. et al. Bordersense: Border patrol through advanced wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 468–477, 2011. Citado na página 3.
- WANG, L.-z.; FANG, Y.-q.; SHAN, M. Performance comparison of two routing protocols for ad hoc networks. In: IEEE. *Information Engineering, 2009. ICIE'09. WASE International Conference on*. [S.l.], 2009. v. 1, p. 260–262. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 11.
- XIANG, H.; TIAN, L. Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle (uav). *Biosystems engineering*, Elsevier, v. 108, n. 2, p. 174–190, 2011. Citado na página 10.
- XIE, J. et al. A survey and analysis of mobility models for airborne networks. In: . [S.l.]: IEEE, 2014. v. 16, n. 3, p. 1221–1238. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 10.
- XIPH.ORG. *Xiph.org Video Test Media [derf's collection]*. Disponível em: <https://media.xiph.org/video/derf/>. Citado na página 29.
- YASSEIN, M. B.; DAMER, N. A. Flying ad-hoc networks: Routing protocols, mobility models, issues. *International journal of Advanced Computer Science and Applications*., p. 7, 2016. Citado 4 vezes nas páginas 9, 10, 11 e 12.
- ZENG, Y.; ZHANG, R.; LIM, T. J. Wireless communications with unmanned aerial vehicles: Opportunities and challenges. *IEEE Communications Magazine*, IEEE, v. 54, n. 5, p. 36–42, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 2 e 6.
- ZHAO, J.; JIANG, X.; SHA, J. A study of the relationship between mobility model of ad hoc network and its connectivity. *JCP*, v. 9, n. 4, p. 817–821, 2014. Citado na página 11.
- ZHAO, T.; LIU, Q.; CHEN, C. W. Qoe in video transmission: A user experience-driven strategy. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, IEEE, 2016. Citado na página 15.