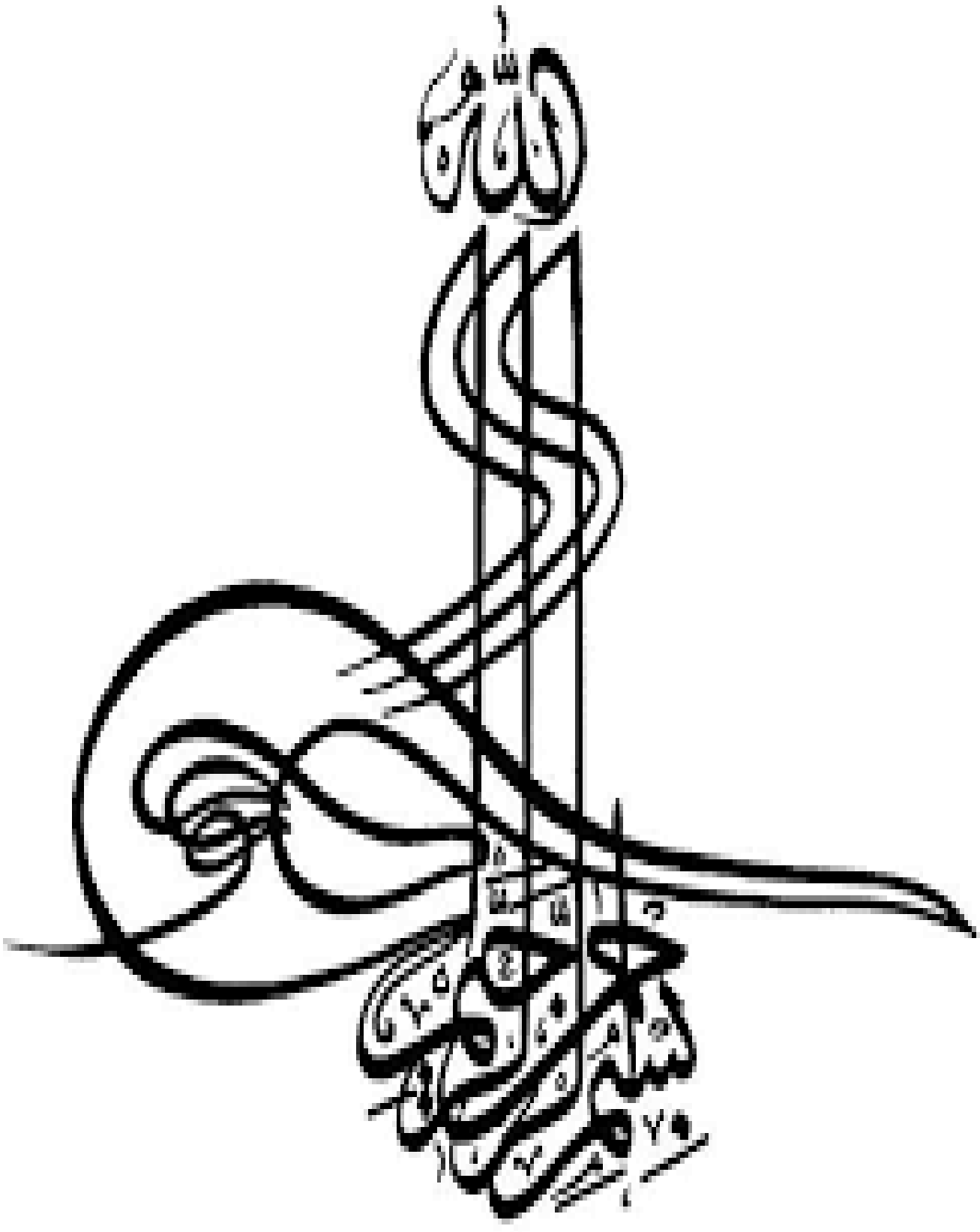


دانشکده/گروه برق

پروژه دوره کارشناسی مهندسی برق گرایش مخابرات

[مجید ربیعی]

استاد راهنما:
[دکتر خیادانی]

تابستان 1400

بسم الله الرحمان الرحیم

شبکه های پرواز موقت (FANETs)

توسط:

مجید ربیعی

پروژه کارشناسی

ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی

در رشته مهندسی برق(مخابرات)

از دانشگاه صنعتی اراک ـ ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پروژه کارشناسی در تاریخ..... و نمره.....

دکتر ..... (استاد راهنما و رئیس کمیته). . (امضا) . . .. استاد دانشگاه صنعتی اراک
دکتر .....(استاد مشاور) . . . . (امضا). . . . . .دانشیار دانشگاه .....
دکتر..... (استاد داور داخلی)..... (امضا).....استادیار دانشگاه صنعتی اراک
دکتر..... (استاد داور خارجی) . . . . (امضا). . .. ..استادیار دانشگاه .....

بسمه تعالی

فرم تعهد اصالت اثر

دانشکده / گروه برق

فرم

تاریخ:

شماره:

اینجانب مجید ربیعی دانشجوی دوره روزانه رشته **برق** با شماره دانشجویی 951019021 متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پروژه کارشناسیحاصل کار پژوهشی اینجانب تحت نظارت و راهنمایی اساتید دانشگاه صنعتی اراک بوده و به دستاوردهای دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات و روال متعارف، ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است. این پروژه کارشناسی قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نگردیده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان، مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از درجه اعتبار ساقط بوده و دانشگاه حق پیگیری قانونی خواهد داشت.

کلیه نتایج و حقوق حاصل از این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اراک است و هرگونه استفاده از نتایج علمی، واگذاری اطلاعات به دیگران، چاپ یا تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس از آن بدون موافقت کتبی دانشگاه صنعتی اراک ممنوع است. نقل مطالب با ذکر مآخذ بلامانع است.

عنوان پروژه کارشناسی: شبکه های پرواز موقت (FANETs)

استاد راهنما: دکتر خیادانی

امضا

تشکر و قدر دانی:

بدینوسیله از زحمات و تلاش بی دریغ استاد محترم سرکار خانم دکترخیادانی که در تهیه این مجموعه با این جانب همکاری داشته اند ، تشکر و مراتب سپاس قلبی خود را اعلام نموده و موفقیت ایشان را ازخداوند متعال خواهانم.

شبکه های پرواز موقت (FANETs)

چکیده

یکی از مهم ترین مشکلات طراحی برای سیستم های UAV متعدد (هواپیمای بدون سرنشین) ارتباط است که برای همکاری و همیاری بین UAV ها بسیار مهم تلقی می شود. اگر همه ی UAV ها مستقیما به زیرساختی مانند پایگاه زمینی یا یک ماهواره متصل باشند، ارتباطات بین UAV می تواند از طریق زیرساخت تحقق یابد. با این وجود، معماری ارتباطی مبتنی بر زیرساخت، قابلیت سیستم های UAV متعدد را محدود می سازد. شبکه های موقت بین UAV می تواند مشکلات ناشی از شبکه ی UAV بر مبنای زیرساخت را برطرف سازند. در این مقاله، شبکه پرواز موقت (FANETs) مورد بررسی قرار می گیرند که شبکه ی موقت متصل به UAV هستند. تفاوت های بین FANETs، MANETs (شبکه ی موقت تلفن همراه) و VANET (شبکه موقت وسایل نقلیه) در ابتدا مشخص می شوند و سپس چالش های اصلی FANET معرفی می گردند.

واژگان کلیدی: شبکه های موقت، MANET، UAV،VANET متعدد.

1. مقدمه

به دنبال پیشرفت سریع تکنولوژی در الکترونیک، و فناوری های سنسور و ارتباطات، تولید سیستم های وسایل نقلیه بدون سرنشین (UAV) ممکن شد که می توانند به صورت مستقل پرواز کنند یا بدون حمل انسان از راه دور کنترل شوند. به دلیل این تطبیق پذیری، انعطاف پذیری، نصب و راه اندازی آسان و هزینه های عملیاتی نسبتا کم، استفاده از UAV ها منجر به روش های جدیدی در کاربردهای نظامی و غیرنظامی شد، این کاربردها عبارتند از جستجو و نابودسازی عملیات ، نظارت مرزها ، مدیریت آتش سوزی ، رله برای شبکه های موقت، برآورد باد ، نظارت بر فاجعه ، سنجش از راه دور و نظارت بر ترافیک. اگرچه سیستم های UAV تک سال ها به جای توسعه و اداره ی یک UAV بزرگ مورد استفاده بوده است، اما استفاده از گروهی از UAVهای کوچک مزایای بسیاری دارد. با این وجود، سیستم های UAVمتعدد نیز

چالش های منحصربفرد خود را دارند و یکی از مهم ترین مشکلات طراحی، ارتباطات است. در این مقاله، شبکه پرواز موقت (FANET) که اساسا شبکه ی موقت بین UAVهاست به عنوان شبکه ی جدیدی مورد بررسی قرار گرفته است. تفاوت بین شبکه ی موقت تلفن همراه (MANET)، شبکه موقت وسیله نقلیه (VANET) و FANET مشخص می شود و مهم ترین چالش طراحی FANET معرفی می گردد. علاوه بر راه حل های موجود، مسائل تحقیقی دیگر نیز مورد بحث قرار می گیرند.

همراه با پیشرفت سیستم های جاسازی شده و گرایش کوچک سازی سیستم های میکروالکترومکانیکی، تولید UAVهای کوچک یا مینی با هزینه ی کم ممکن شده است. با این وجود، قابلیت UAV کوچک تک محدود می باشد. هماهنگی و همکاری UAVهای متعدد می تواند سیستمی را تولید کند که فراتر از قابلیت یک UAV تک است. مزایای سیستم های UAV متعدد می تواند به شرح زیر خلاصه شود:

- هزینه: هزینه ی کسب و تعمیر و نگهداری UAV های کوچک کمتر از هزینه ی UAV های بزرگ است.
- مقیاس پذیری: استفاده از UAV های بزرگ افزایش پوشش محدودی را قادر می سازد. با این وجود، سیستم های UAV متعدد می تواند مقیاس پذیری عملیات را به آسانی گسترش دهند.
- قابلیت بقا: اگر UAV ها نتوانند در ماموریتی که تنها با یک UAV انجام می شود موفق شوند، ماموریت نمی تواند ادامه یابد. با این وجود، اگر UAV در سیستم UAV متعدد باشد، عملیات می تواند با دیگر UAV ها ادامه یابد.
- سرعت بالا: نشان داده شده است که ماموریت ها می تواند با تعداد بیشتری از UAV ها سریع تر تکمیل شوند.
- رادار متقاطع کوچک: به جای یک رادار متقاطع بزرگ، سیستم های UAV متعدد رادارهای متقاطع کوچکی تولید می کنند که برای کاربردهای نظامی بسیار مهم می باشد.

اگرچه چندین مزیت برای سیستم های UAV متعدد وجود دارد، اما زمانی که با سیستم UAV تک مقایسه می شود، چالش های منحصربفردی مانند ارتباطات دارد. در سیستم های UAV تک، یک پایگاه زمینی یا ماهواره برای ارتباطات مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین ایجاد ارتباطات بین UAV و سیستم کنترل هوابرد نیز ممکن است. در همه ی

موارد، ارتباط UAV تک بین UAV و زیرساخت ایجاد می شود. در حالیکه تعداد UAV ها در سیستم های هواپیماهای بدون سرنشین افزایش می یابد، طراحی ساختار شبکه کارآمد به عنوان یک مسئله حیاتی باید در نظر گرفته شود.

همانند سیستم های UAV تک، UAV ها می توانند به پایگاه زمینی یا ماهواره در سیستم های UAV متعدد متصل شوند.در حالیکه برخی از UAV ها با پایگاه زمینی ارتباط برقرار می کنند، بقیه موارد می توانند با ماهواره ها ارتباط برقرار کنند. در این رویکرد، ارتباط UAV به UAV نیز از طریق زیرساخت تحقق می یابد. چندین مشکل طراحی با رویکرد مبتنی بر زیرساخت وجود دارد. اول از همه اینکه هر UAV باید با سخت افزار گران و پیچیده تجهیز شود تا با پایگاه زمینی یا ماهواره ارتباط برقرار کند. نقص دیگر در مورد ساختار شبکه قابلیت اطمینان ارتباطات است. به دلیل شرایط محیطی پویا، حرکت گره ها و سازه های زمین، UAV ممکن است رابط ارتباطی خود را حفظ نکند. مشکل دیگر محدودیت دامنه بین UAV و پایگاه زمینی است. اگر UAV خارج از پوشش پایگاه زمینی باشد، قطع می شود. راه حل ارتباطی جایگزین برای سیستم های UAV متعدد، ایجاد شبکه موقت بین UAV است که FANET نامیده می شود. در حالیکه تنها یک زیرمجموعه از UAVها می تواند با پایگاه زمینی یا ماهواره ارتباط برقرار کند، همه ی UAV ها دارای شبکه موقت هستند. در این روش، UAV می تواند با هر پایگاه زمینی و با یکدیگر ارتباط برقرار کند.

FANET، می تواند به عنوان نوع خاصی از MANET و VANET در نظر گرفته شود. با این حال، تفاوت های خاصی بین FANET و شبکه های موقت موجود وجود دارد:

- درجه حرکت گره های FANET بسیار بالاتر از درجه حرکت گره های MANET یا VANET است. در حالیکه گره های MANET و VANET معمولی به ترتیب ماشین و انسان هستند که (روی زمین) راه می روند ، گره های FANET در آسمان ها پرواز می کند.
- بر مبنای حرکت بالای گره های FANET، توپولوژی بیشتر از توپولوژی شبکه های MANET یا حتی VANET تغییر می کند.

- هدف شبکه های موقت ارتباط نظیر به نظیر است. FANET نیز نیاز به ارتباط نظیر به نظیر برای همکاری و هماهنگی UAV ها دارد. علاوه بر این، اکثر اوقات، داده هایی از محیط و رله جمع آوری می کند تا به مرکز کنترل فرمان دهد مانند شبکه های حسگر بی سیم.

در نتیجه، FANET باید ارتباط نظیر به نظیر و پوشش ترافیک در یک زمان را پشتیبانی کند.

- فاصله های معمولی بین گره های FANET بسیار طولانی تر از MANET و VANET است. به منظور ایجاد رابط های ارتباطی بین UAV ها، دامنه ی ارتباطات باید طولانی تر از MANET و VANET باشد. این پدیده لینک های رادیویی، مدارهای سخت افزار و رفتار لایه فیزیکی را تحت تاثیر قرار می دهد.
- سیستم های UAV متعدد ممکن است شامل انواع متفاوتی از حسگرها باشند و هر حسگر ممکن است نیازمند استراتژی های متفاوت تحویل باشد.

انگیزه ی اصلی این مقاله تعریف FANET به عنوان شبکه ی موقت و معرفی چالش های منحصربفرد و محدودیت های طراحی می باشد. مطالعات اندکی وجود دارد که برخی از مسائل خاص UAV های شبکه ای را بیان می کند.

مقاله به شرح زیر مرتب شده است.

در بخش 2، چندین کاربرد FANET را ارائه می دهیم و ویژگی های طراحی FANET را در بخش 3 معرفی می کنیم. بررسی جامعی از پروتکل های ارتباطی موجود و مسائل تحقیقی دیگر را در بخش 4 مورد بررسی قرار می دهیم. همچنین بسترهای آزمون UAVهای متعدد و محیط شبیه سازی آن را در بخش 5 ارائه می دهیم. و در بخش 6 نتیجه گیری می کنیم.

2. موارد کاربرد FANET

در این بخش، موارد کاربرد FANET مورد بحث قرار می گیرند.

2.1. گسترش مقیاس پذیری عملیات UAV متعدد

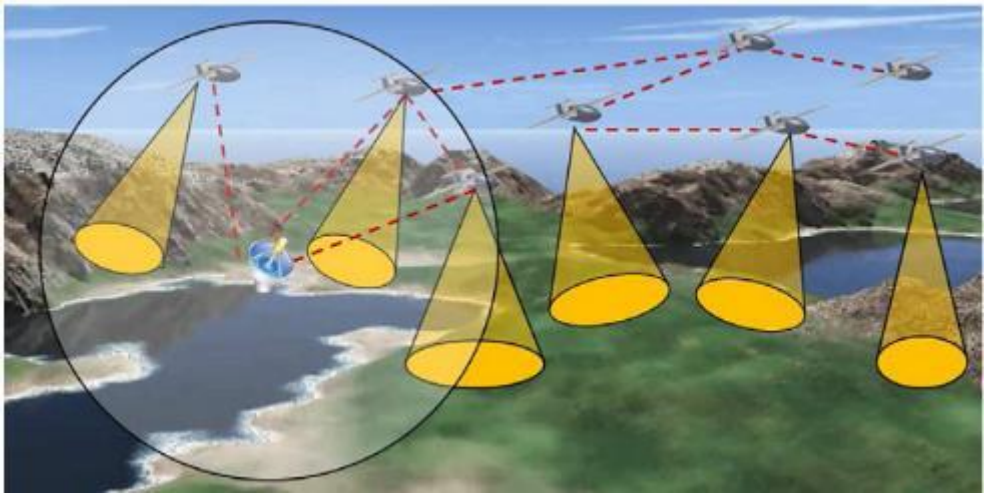
اگر شبکه ارتباطی UAV متعدد که کاملا بر مبنای زیرساخت است مانند ماهواره یا پایگاه زمینی ایجاد شود، منطقه عملیات به پوشش ارتباطی زیرساخت محدود می شود. اگر UAV نتواند با زیرساخت ارتباط برقرار کند، نمی تواند عمل

کند. از سوی دیگر، FANET به جای رابط داده های UAV به زیرساخت برمبنای رابط داده های UAV به UAV است و می تواند پوشش عملیات را گسترش دهد. حتی اگر یک گره FANET نتواند لینک ارتباطی با زیرساخت بوجود آورد، همچنان می تواند با ارتباط از طریق دیگر UAV ها عمل کند. این حالت در شکل 1 نشان داده شده است.

چندین طرح FANET وجود دارد که برای گسترش مقیاس پذیری کاربردهای UAVمتعدد گسترش یافته است.

طراحی FANET برای گسترش دامنه ی سیستم های UAV متعدد پیشنهاد شد. بیان شد که شکل دادن زنجیره رابط UAV با استفاده از ارتباطات چند هاپ می تواند ناحیه عملیات را گسترش دهد.

باید توجه داشت که زمین نیز پوشش ارتباطی زیرساخت را تحت تاثیر قرار می دهد. ممکن است موانعی مانند کوه ها، دیوار، یا ساختمان ها در زمین وجود داشته باشد و این موانع ممکن است سیگنال زیرساخت ها را مسدود سازد. بویژه در مناطق شهری، ساختمان ها و سازه ها سیگنال های رادیویی بین پایگاه زمینی و UAV ها را مسدود می سازند. FANET نیز می تواند کمک کند تا پشت موانع عمل کند و همچنین می تواند مقیاس پذیری کاربردهای UAV متعدد را گسترش دهد.

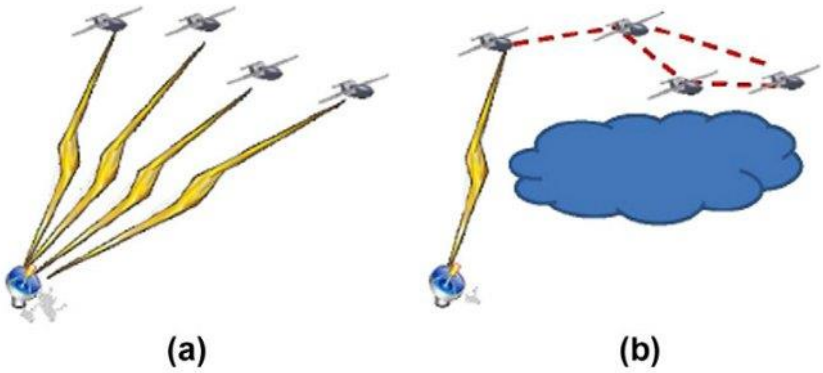


شکل 1. یک حالت FANET جهت گسترش مقیاس پذیری سیستم های UAV متعدد

2.2. ارتباط قابل اطمینان UAV متعدد

در بسیاری از موارد، سیستم های UAV متعدد در محیط های بسیار پویا عمل می کنند. شرایط در آغاز ماموریت ممکن است در طول عملیات تغییر کند. اگر هیچ فرصتی برای ایجاد شبکه ی موقت وجود نداشته باشد، همه ی UAV ها باید

به زیرساخت متصل شوند همانطور که در شکل 2a نشان داده شده است. با این حال، در طول عملیات، بدلیل تغییرات شرایط آب و هوایی، برخی از UAV ها ممکن است قطع شوند. اگر سیستم UAV متعدد بتواند معماری FANET را پشتیبانی کند، می تواند اتصال را از طریق دیگر UAVها حفظ کند همانطور که در شکل 2b نشان داده شده است. این قابلیت اتصال اطمینان سیستم های UAV متعدد را افزایش می دهد.



شکل 2. موارد برنامه کاربردی FANET برای شبکه ارتباطی UAV متعدد قابل اطمینان

2.3. UAVهای جمعی

UAV های کوچک بسیار سبک هستند و قابلیت حمل بار محدودی دارند. علارغم قابلیت محدودشان، رفتار گروهی UAVهای کوچک متعدد می توانند ماموریت های پیچیده را انجام دهند رفتار جمعی UAV ها نیازمند عملکرد هماهنگ است و UAV ها باید با یکدیگر ارتباط برقرار کنند تا به هماهنگی دست یابند. با این وجود، به دلیل حمل بار محدود UAV های کوچک، حمل سخت افزار ارتباطی سنگین UAV به زیرساخت ممکن نیست. FANET که نیاز به سخت افزار نسبتا سبک تر و ارزان تر دارد می تواند برای ایجاد شبکه بین UAV های کوچک مورد استفاده قرار گیرد. به کمک معماری FANET، UAV های جمعی می توانند از برخورد جلوگیری کنند و هماهنگی بین UAV ها می تواند برای تکمیل موفقیت آمیز ماموریت ها مورد استفاده قرار گیرد.

UAV های جمعی منعطف مستقل همیاری (CARUS) با معماری ارتباطی FANET وجود دارند. هدف CARUS نظارت مجموعه نقاط داده شده است. هر UAV در روشی مستقل عمل می کند و تصمیمات توسط هر UAV در هوا گرفته می شود نه در زمین. یک FANET مبتنی بر معماری UAV جمعی پیشنهاد شده است تا UAV را با تصمیم گیری همیاری

به موقعیت هدف منتقل کند. در حین شرایط فاجعه و بلا، تیم های نجات نمی توانند بر زیرساخت های ثابت متکی باشند. هدف پروژه فراهم آوردن اطلاعات سریع و درست از ناحیه تحت تاثیر قرار گرفته می باشد.

2.4. FANET به منظور کاهش محموله و هزینه

مشکل ظرفیت حمل بار تنها برای UAV های کوچک معتبر نیست. حتی UAV های با ارتفاع بالا استقامت پایین (HALE) باید وزن بار را در نظر گیرند. بار سبک تر به معنای ارتفاع بالاتر و استقامت طولانی تر می باشد.اگر معماری ارتباطات سیستم UAV متعدد کاملا بر مبنای رابط های ارتباطی UAV به زیرساخت باشد، هر UAV باید سخت افزار ارتباطی سنگین تری را حمل کند. با این حال، اگر از FANET استفاده کند، تنها یک زیرمجموعه ی UAV از رابط ارتباطی UAV به زیرساخت استفاده می کند و UAV های دیگر می تواند با FANET عمل کنند که در اکثر موارد نیاز به سخت افزار ارتباطی سبک تر دارد. به این ترتیب، FANET می تواند استقامت سیستم UAV متعدد را افزایش دهد.

3. ویژگی های طراحی FANET

قبل از بحث در مورد ویژگی های FANET، تعریفی از FANET و بحث مختصری در مورد تعریف جهت درک واضح FANET ارائه داده ایم.

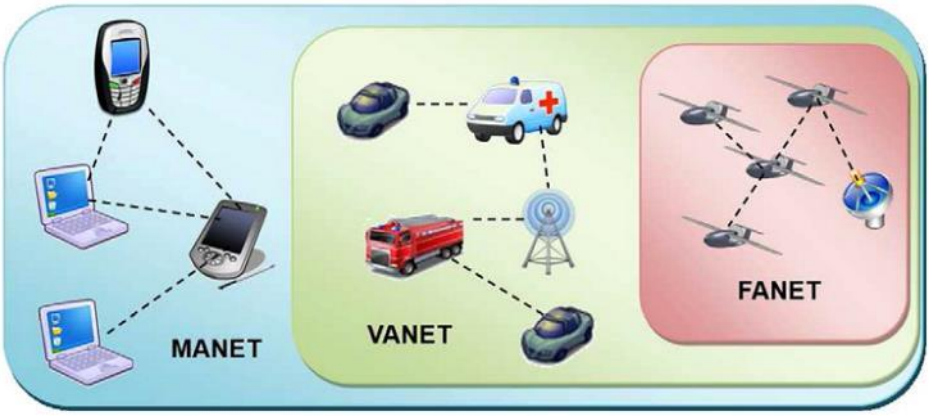
FANET می تواند به عنوان فرم جدیدی از MANET تعریف شود که در آن گره ها UAV هستند. بر طبق این تعریف، سیستم های UAV تک نمی توانند یک FANET را شکل دهند که تنها برای سیستم های UAV متعدد معتبر هستند. از طرف دیگر، همه ی سیستم های UAV متعدد یک FANET را شکل نمی دهند. ارتباط UAV باید توسط کمک شبکه موقت بین UAV ها درک شود. بنابراین، اگر ارتباط بین UAV کاملا بر مبنای رابط های UAV به زیرساخت باشد، نمی تواند به عنوان FANET طبقه بندی شود.

در ادبیات، تحقیقات مرتبط به FANET تحت اسامی متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته است. برای مثال، تیم ربات های هوایی یک سیستم UAV متعدد مستقل و تعاونی است و عموما معماری شبکه اش موقت می باشد. از این لحاظ، تیم های ربات هوایی موقت می تواند به عنوان طرح FANET در نظر گرفته شوند. با این وجود، مطالعات تیم ربات هوایی اکثرا بر هماهنگی مشترک سیستم های UAV متعدد متمرکز هستند نه بر ساختار، الگوریتم یا پروتکل شبکه. موضوع

مرتبط FANET دیگر شبکه حسگر هوابرد است. شبکه حسگر هوابرد یک حسگر موبایل خاص و شبکه کنشگر است که گره ها UAV می باشند. در اطراف محیط حرکت می کند، با حسگرهای روی UAV حس می کند و داده های جمع آوری شده را به پایگاه زمینی می فرستد. بعلاوه، می تواند با کنشگرهای روی UAV عمل کند تا ماموریتش را به تحقق رساند. باید این مورد را درک کرد تا بتوان مسئله را به عنوان شبکه ی موقت پرواز یا شبکه حسگر هوابرد نامید. چالش های طراحی پایه ی شبکه ی حسگر سنتی، مصرف انرژی و تراکم گره است و هیچ یک از آن ها به سیستم های UAV متعدد مرتبط نیستند. به طور کلی، UAV ها انرژی کافی برای پشتیبانی از سخت افزار ارتباطی شان دارند و تراکم گره سیستم UAV متعدد به هنگام مقایسه با شبکه حسگر سنتی بسیار پایین است. در پرتو این بحث ها، بهتر است سیستم ارتباطی UAV متعدد بر مبنای رابط های UAV به UAV به عنوان شبکه موقت خاص به جای شبکه حسگر خاص طبقه بندی کرد. شبکه موقت UAV موضوع دیگری است که به FANET مرتبط است. در حقیقت، تفاوت معناداری بین تحقیقات شبکه موقت UAV و تعریف فوق FANET وجود ندارد. با این وجود، اصطلاح FANET به یاد می آورد که فرم خاصی از MANET و VANET است. بنابراین، ترجیح می دهیم که آن را شبکه موقت پرواز، FANET بنامیم.

3.1. تفاوت های بین FANET و شبکه های موقت موجود

شبکه های موقت بی سیم بر طبق کاربرد، استقرار، اهداف ارتباطی و ماموریتی طبقه بندی می شوند. با این تعریف، FANET نوعی از MANET است و طراحی رایج برای MANET و FANET وجود دارد. علاوه بر این، FANET می تواند به عنوان زیرمجموعه ای از VANET طبقه بندی شود که زیرگروهی از MANET است. این رابطه در شکل 3 نشان داده شده است. به عنوان حوزه پژوهشی نوظهور، FANET ویژگی های رایجی با این شبکه ها دارد و همچنین چندین چالش طراحی منحصربفرد نیز دارد. در این بخش، تفاوت بین FANET و شبکه های موقت بی سیم به طور دقیق تر توصیف شده است.



شکل 3. MANET، VANET و FANET

3.1.1.حرکت گره

مسائل مربوط به حرکت گره تفاوت قابل توجه بین FANET و دیگر شبکه های موقت است. حرکت گره MANET در مقایسه با VANET نسبتا آرام است. در FANET، میزان حرکت گره بسیار بالاتر از VANET و MANET است.

3.1.2. مدل حرکت

در حالیکه گره های MANET در زمین خاصی حرکت می کنند، گره ها VANET در بزرگراه ها حرکت می کنند و گره های FANET در آسمان پرواز می کند. MANET ها به طور کلی در مسیر مدل حرکت تصادفی به کار گرفته می شوند که در آن مسیر و سرعت گره ها به صورت تصادفی انتخاب می گردند. گره های VANET برای حرکت در بزرگراه ها یا جاده ها محدود شده اند. بنابراین، مدل های حرکت VANET قابل پیش بینی هستند.

در برخی از کاربردهای UAV متعدد، برنامه های مسیر جهانی ترجیح داده می شود. در این مورد، UAV ها در مسیری از پیش تعیین شده حرکت می کنند و مدل حرکت منظم است. در سیستم های UAV متعدد مستقل، برنامه پرواز تعیین شده نیست. حتی اگر یک سیستم UAV متعدد از طرح پرواز از پیش تعیین شده استفاده کند، بدلیل تغییرات زیست محیطی یا به روز رسانی ماموریت، طرح پرواز ممکن است دوباره محاسبه شود. علاوه بر تغییرات طرح پرواز، حرکت های سریع و تیز UAV و شکل گیری UAV متفاوت به طور مستقیم مدل حرکت سیستم های UAV متعدد را تحت تاثیر قرار می دهد. به منظور بررسی این مسئله، مدل حرکت FANET پیشنهاد شده است. دریک تحقیق مدل حرکتی مدور نیمه تصادفی (SRCM) ارائه شده است و تابع توزیع گره تقریبی در دو منطقه ی دو بعدی ارائه شده است. در گزارشی

دیگر، دو مدل حرکتی جدید برای سیستم های UAV متعدد پیشنهاد شده است. در مدل حرکت UAV تصادفی، UAV به صورت مستقل حرکت می کند هر گره UAV جهت حرکتش را طبق فرآیند از پیش تعیین شده Markov مشخص می کند. در مدل دوم، UAV ها نقشه ی فرمانی را بدست می آورند که فرمان حرکاتشان را هدایت می کند. هر UAV نواحی ای که بر روی نقشه اسکن شده است را علامت می زند و نقشه فرمان را با اعلام کردن آن به اشتراک می گذارد. به منظور به حداکثر رساندن پوشش، UAV ها حرکت از طریق نواحی با میزان فرمان پایین تری را ترجیح می دهند. نشان داده شده است که استفاده از مدل حرکت MANET معمولی ممکن است منجر به نتایج نامطلوب برنامه مسیر برای برنامه های کاربردیUAV شود. همچنین مشاهده شد که مدل تصادفی بسیار ساده است اما منجر به نتایج معمولی میشود. با این وجود، مدل مبتنی بر فرمان ویژگی های اسکن قابل اطمینانی دارند.

3.1.3. تراکم گره

تراکم گره می تواند به عنوان میانگین تعداد گره ها در یک واحد تعریف شود. گره های FANET معمولا در آسمان پراکنده هستند و فاصله بین UAV ها حتی برای سیستم های UAV متعدد کوچک می تواند چندین کیلومتر باشد. در نتیجه ی این، تراکم گره FANET بسیار پایین تر از MANET و VANET است.

3.1.4. تغییر توپولوژی

بسته به درجه حرکت بالاتر، توپولوژی FANET نیز بیشتر از توپولوژی MANET و VANET تغییر می کند. علاوه بر حرکت گره های FANET،شکست سکوی VANET نیز توپولوژی شبکه را تحت تاثیر قرار می دهد. زمانی که UAV موفق نشود، رابط هایی که UAV در آن درگیر بودند نیز شکست می خورند، و این منجر به به روزرسانی توپولوژی می شود. همانند شکست UAV، ورود UAV نیز منجر به به روز رسانی توپولوژی می شود. عامل دیگری که توپولوژی FANET را تحت تاثیر قرار می دهد راه خروج رابط است. به دلیل حرکات و تغییرات UAV فاصله گره FANET، کیفیت رابط نیز به سرعت تغییر می کند و همچنین منجر به خروجی رابط و تغییرات توپولوژی می شود.

3.1.5. مدل انتشار امواج رادیویی

تفاوت ها بین FANET و دیگر شبکه های موقت در محیط های عملیاتی، ویژگی های انتشار امواج رادیویی را تحت تاثیر قرار می دهند. گره های MANET و VANET نیز به طور قابل ملاحظه ای به زمین نزدیک هستند و در بسیاری از موارد هیچ دیدی بین فرستنده و گیرنده وجود ندارد. بنابراین، سیگنال های رادیویی عمدتا توسط ساختار جغرافیایی زمین تحت تاثیر قرار می گیرند. با این وجود، گره های FANET می توانند از زمین دور باشند و در بسیاری از موارد خط دیدی بین UAV ها وجود دارد.

3.1.6. مصرف برق و طول عمر شبکه

طول عمر شبکه مسئله ی طراحی اساسی برای MANET است که بویژه شامل دستگاه های محاسبات قدرت باتری می باشد. توسعه ی پروتکل های ارتباطی با انرژی کارآمد هدف تلاش های بسیار به منظور افزایش طول عمر شبکه است. بویژه، در حالیکه دستگاه های محاسبه ی قدرت باتری در MANET کوچک تر می شود، توسعه دهندگان سیستم باید توجه بیشتری به پروتکل ارتباطی کارآمد انرژی داشته باشند تا طول عمر شبکه را بیشتر کنند. با این وجود، سخت افزار ارتباطی FANET توسط منبع انرژی UAV تقویت می شود. این بدین معناست که سخت افزار ارتباطی FANET مشکل عملی منبع قدرت همانند MANET ندارد. در این مورد، طراحی های FANET برخلاف بسیاری از برنامه های کاربردی MANET ممکن است حساس به قدرت نباشد. با این وجود، ناگفته نماند که مصرف برق همچنان می تواند به عنوان مشکل طراحیUAV های مینی در نظر گرفته شود.

3.1.7 قدرت محاسباتی

گره ها باید برای پردازش داده های دریافتی در زمان واقعی قابلیت محاسباتی خاصی داشته باشند. به طور کلی، گره های MANET کامپیوترهای کوچک با قدرت باتری مانند لپ تاپ، PDA و تلفن های هوشمند هستند. به دلیل اندازه و محدودیت انرژی، گره ها تنها قدرت محاسباتی محدودی دارند. از سوی دیگر، هم VANET و هم FANET، دستگاه های خاص برنامه کاربردی با قدرت محاسباتی بالا می توانند مورد استفاده قرار گیرند. اکثر UAV ها انرژی و فضای کافی برای دربرگرفتن قدرت محاسباتی دارند. تنها محدودیت در مورد قدرت محاسباتی، وزن آن است. به کمک کوچک سازی سخت

افزار، امکان قرار دادن سخت افزار محاسباتی قوی در سکوی UAV ها وجود دارد. با این حال، محدودیت اندازه و وزن می تواند شامل محدودیت های جدی برای UAV های مینی شود که ظرفیت بار بسیار محدودی دارند.

3.1.8. مکانیابی

مکانیابی مکانی دقیق اساس و هسته ی شبکه های موقت هستند. روش های مکانیابی موجود شامل سیستم موقعیت یابی جهانی (GPS)، گره بیکن (فانوس دریایی) (یا لنگر)، و مکانیابی مبتنی بر نزدیکی است.

در MANET، GPS به طور کلی برای دریافتن مختصات ارتباطات تلفن همراه مورد استفاده قرار می گیرد و اکثر اوقات، GPS برای تعیین مکان گره ها کافی است. زمانی که GPS در مواردی مانند مناطق با شاخ و برگ متراکم در دسترس نبود، گره بیکن یا روش های مبتنی بر نزدیکی نیز می توانند مورد استفاده قرار گیرند.

در VANET، برای گیرنده ی GPS درجه ناوبری، دقت 10-15 متری وجود دارد که می تواند برای هدایت مسیر قابل قبول باشد. با این حال، برای برنامه های کاربردی ایمن مانند هشدار برخورد اتومبیل کافی نیست. برخی از محققان از GPS کمکی (AGPS) یا GPS تفاضلی (DGPS) با استفاده از ایستگاه ارجاع زمینی برای اصلاحات وسیع با دقت 10 سانتی متر استفاده کرده اند.

بدلیل سرعت بالا و مدل های حرکت متفاوت سیستم های UAV متعدد، گره های FANET، به داده های مکانیابی بسیار دقیق با فاصله زمانی کمتر نیاز دارند. GPS اطلاعات موقعیت را در فاصله یک ثانیه ای فراهم می کند و ممکن است برای پروتکل FANET خاصی کافی نباشد. در این مورد، هر UAV باید با GPS و واحد اندازه گیری اینرسی (IMU) تجهیز شوند تا موقعیت را در UAV دیگر در هر زمانی ارائه دهند. IMU می تواند با سیگنال GPS کالیبره شود و بنابراین می تواند موقعیت UAV را در نرخ سریع تری فراهم کند.

بدلیل تفاوت های فوق بین FANET، MANET و VANET ترجیح می دهیم که FANET را به عنوان شبکه موقت جداگانه مورد بررسی قرار دهیم. تفاوت ها بین MANET و VANET و FANET در جدول 1 نشان داده شده است.

جدول1مقایسه ی MANET,FANET و VANET

	MANET	VANET	FANET
حرکت گره	پایین	بالا	بسیار بالا
مدل حرکت	تصادفی	منظم	برای مسیرهای از پیش تعیین شده منظم اما مدل های حرکت برای سیستم های UAV متعدد مستقل، خاص است
تراکم گره	پایین	بالا	بسیار پایین
تغییر توپولوژی	آهسته	سریع	سریع
مدل انتشار امواج رادیو	نزدیک به زمین،LoS برای همه ی مدل ها موجود نیست	نزدیک به زمین، loS برای همه ی مدل ها موجود نیست	LoS برای همه ی مدل ها موجود است
مصرف برق و طول عمر شبکه	پروتکل انرژی کارآمد	مورد نیاز نسیت	کارآمدی انرژی برای UAV های مینی، اما برای UAVهای کوچک مورد نیاز نیست
قدرت محاسباتی	محدود	بالا	بالا
مکانیابی	GPS	GPS,AGPS,DGPS	GPS,AGPS,DGPS,IMU

3.2. ملاحظات طراحی FANET

ویژگی متمایز FANET نیازمند ملاحظات منحصربفردی در طراحی می باشد. این بخش،مهم ترین ملاحظات طراحی FANET اعم از سازگاری، مقیاس پذیری، تاخیر، محدودیت سکوی UAV و پهنای باند مورد نیاز، مورد بحث قرار می گیرد.

3.2.1. سازگاری

چندین پارامتر FANET وجود دارد که می تواند در طول عملیات سیستم UAV متعدد تغییر یابد. گره های FANET بسیار متحرک هستند و همیشه مکانشان را تغییر می دهند. به دلیل الزامات عملیاتی، مسیرهای UAV ممکن است متفاوت باشد و فاصله بین UAV نمی تواند ثابت باشد.

مشکل دیگر که باید مورد توجه قرار گیرد شکست UAV هاست. در نتیجه ی مشکل فنی یا حمله به سیستم UAV متعدد، برخی از UAVها ممکن است در طول عملیات شکست بخورند. در حالیکه شکست UAVها تعداد UAV را کاهش می دهد، ورود UAV ممکن است برای حفظ عملیات سیستم UAVمتعدد مورد نیاز باشد. شکست UAV و ورود آن پارامترهای FANET را تغییر می دهد.

شرایط محیطی نیز می تواند FANET را تحت تاثیر قرار دهد. اگر آب و هوا به صورت غیرمنتظره تغییر کند، رابط داده های FANET ممکن نیست که نجات یابند. FANET باید طوری طراحی شود که بتواند عملیات را در محیطی بسیار پویا ادامه دهد.

ممکن است ماموریت در طول عملیات سیستم UAV متعدد به روز رسانی شود. داده های اضافی یا اطلاعات جدید در مورد ماموریت ممکن است نیازمند به روز رسانی برنامه پرواز باشد. برای مثال، در حالیکه یک سیستم UAV متعدد برای ماموریت جستجو و نجات عمل می کند؛ بعد از رسیدن گزارش اطلاعاتی جدید، ماموریت ممکن است بر نواحی خاص متمرکز باشد و به روز رسانی برنامه پرواز نیز پارامترهای FANET را تحت تاثیر قرار می دهد.

طراحی FANET باید طوری توسعه یابد که بتواند خودش را در هر تغییر یا شکستی تنظیم کند. لایه فیزیکی FANET باید بر طبق تراکم گره، فاصله بین گره ها و تغییرات محیطی وفق یابد. می تواند پارامتر ها را اسکن کند و مناسب ترین گزینه ی لایه ی فیزیکی را انتخاب کند. ماهیت بسیار پویای محیط FANET نیز پروتکل لایه ی شبکه را تحت تاثیر قرار می دهد. نگهداری مسیر در شبکه موقت به تغییرات توپولوژی مرتبط است. بنابراین، عملکرد سیستم به پروتکل مسیریابی در وفق دادن تغییرات لینک بستگی دارد. لایه ی حمل و نقل نیز باید بر طبق وضعیت FANET تطبیق یابد.

3.2.2. مقیاس پذیری

کار مشترک UAV می تواند عملکرد سیستم را در مقایسه با سیستم UAV تک بهبود بخشد. در حقیقت، این انگیزه ی اصلی جهت استفاده از سیستم UAV متعدد است. در بسیاری از برنامه های کاربردی، افزایش عملکرد به تعداد UAV ها مرتبط است. برای مثال، تعداد بالاتر UAV می تواند عملیات جستجو و نجات را سریع تر کامل کند. پروتکل و الگوریتم های FANET باید طوری طراحی شود که تعداد UAV ها بتواند با تنزل عملکرد جزیی عمل کند.

3.2.3. تاخیر

تاخیر یکی از مهم ترین مسائل طراحی برای انواع شبکه ها است که FANET از این موضوع مستثنا نیست. الزامات تاخیر FANET کاملا به کاربرد بستگی دارد. بویژه برای برنامه های کاربردی FANET زمان واقعی مانند نظارت نظامی، بسته های داده ها باید در محدوده تاخیر خاصی تحول داده شود. یکی دیگر از الزامات تاخیر پایین اعتبار برای اجتناب از برخورد UAVمتعدد است.

3.2.4. محدودیت های سکوی UAV

سخت افزار ارتباطی FANET باید بر سکوی UAV مستقر شود و این موقعیت محدودیت های خاصی را تحمیل می کند. وزن سخت افزار مسئله مهمی برای عملکرد UAV است. سخت افزار سبک تر به معنی بار سبک تر می باشد و استقامت را گسترش می دهد. فرصت دیگری که با سخت افزار ارتباطی سبک تر همراه است استقرار حسگرهای اضافه بر UAV است. اگر کل بار به عنوان ثابت در نظر گرفته شود و سخت افزار ارتباطی سبک تر باشد، حسگرهای پیشرفته تر و دیگر لوازم جانبی نیز می توانند مستقر شوند.

محدودیت های فضا از دیگر محدودیت مرتبط به سکوی UAV برای طراحی FANET است. بویژه برای UAV های مینی، محدودیت فضا برای سخت افزار ارتباطی بسیار مهم است که باید در سکوی UAV نصب شود.

3.2.5. الزامات پهنای باند

در اکثر برنامه های کاربردی FANET، هدف جمع آوری داده ها از محیط و رله کردن داده های جمع آوری شده به پایگاه زمینی می باشد. برای مثال، در نظارت، عملیات نظارت یا نجات، تصویر یا فیلم ناحیه ی هدف باید از UAV به مرکز کنترل با محدودیت تاخیر خاص تکرار شود و نیازمند پهنای باند بالا است. بعلاوه، با کمک پیشرفت های فناوری بر تکنولوژی های حسگر، جمع آوری داده ها با وضوح بالا ممکن شده است و این الزامات پهنای باند را بالاتر می برد. همکاری و تعاون چندین UAV نیازمند منبع پهنای باند اضافی است.

از سوی دیگر، چندین محدودیت برای استفاده از پهنای باند موجود وجود دارد، از جمله:

- ظرفیت کانال ارتباطی
- سرعت UAV
- ساختار متمایل به خطای رابط های بی سیم
- فقدان امنیت با پخش ارتباطات

یک پروتکل FANET باید الزامات ظرفیت پهنای باند را ارضا کند تا بتواند فیلم و تصاویر با وضوح بسیار بالا را تحت محدودیت های مختلف تکرار کند.

4. پروتکل های ارتباطی برای FANET

در این بخش، پروتکل های ارتباطی FANET و مسائل تحقیقی آزاد ارائه شده است. پروتکل های FANET موجود برای لایه فیزیکی، لایه کنترل دسترسی متوسط (MAC)، لایه شبکه، لایه انتقال و انفعالات لایه متقابل شان را مورد بررسی قرار دادیم.

4.1. لایه فیزیکی

لایه فیزیکی با فناوری های انتقال سیگنال اساسی مانند مدولاسیون یا کدگذاری در ارتباط است. دنباله های بیت داده های متعدد می تواند با شکل امواج متفاوت توسط تغییر فرکانس، دامنه و فاز سیگنال نشان داده شود. به طور کلی، در لایه ی فیزیکی، بیت های داده ها به شکل موج سینوسی مدوله شده است و با استفاده از آنتن به هوا ارسال شد.
عملکرد سیستم MANET بسیار به لایه ی فیزیکی اش مرتبط است و حرکت بسیار بالا مسائل مشکل ساز اضافی در مورد FANET بوجود می آورد. به منظور توسعه ی معماری ارتباطی داده های پایدار و قوی برای FANET، شرایط لایه ی فیزیکی باید به خوبی درک و تعریف شود. اخیرا، سناریوهای ارتباطی UAV به UAV و UAV به زمین به طور گسترده هم در محیط شبیه سازی و هم زمان واقعی مورد مطالعه قرار گرفت. مدل های انتشار امواج رادیویی و ساختار آنتن به عنوان عوامل کلیدی ای مورد بررسی قرار می گیرد که طراحی لایه ی فیزیکی FANET را تحت تاثیر قرار می دهد.

4.1.1. مدل انتشار امواج رادیویی

امواج الکترومغناطیسی از فرستنده به گیرنده از طریق کانال های بی سیم متشعشع می شود. خصوصیات انتشار امواج رادیویی به عنوان تابع ریاضیاتی بیان می شود که مدلسازی انتشار رادیویی نامیده می شود. محیط FANET چالش های منحصربفردی در قالب انتشار رادیویی دارد زمانی که با انواع دیگر شبکه های بی سیم مقایسه می شود.برخی از چالش ها به صورت زیر خلاصه شده است:

- تنوع در فاصله ارتباطی.
- جهت جفت های ارتباطی در الگوی تابش آنتن.
- اثرات بازتاب زمین.
- سایه ناشی از سکوی UAV و تجهیزات الکترونیکی.
- اثر نگرش هواپیما (زمین،چرخش،انحراف و غیره) بر کیفیت لینک بی سیم.
- شرایط زیست محیطی.
- اختلال خصمانه و تداخل.

بدلیل عوامل فوق، لینک های رابط کیفیت های مختلفی در طول زمان در FANET نشان داده می شود.

در یک مطالعه، مدل های فضای آزاد و تقریبی زمین دو اشعه ای برای هر نوع لینک مقایسه شده است و حضور مناطق خاکستری مشاهده شده است، زمانی که UAVها به زمین نزدیک شده اند. مناطق خاکستری نشان داد که مدل انتشار رادیویی لینک های UAV به UAV به مدل زمینی دو اشعه مشابه است و طراحان پروتکل FANET باید از حضور مناطق خاکستری به دلیل محو شدن آگاه باشند.

در مطالعه دیگر، مشاهده شد که آمار خطای کانال های بی سیم بین UAV ها غیرثابت هستند. بسته به تغییرات فواصل بین UAVها، مدل مارکوف دو مرحله ای برای ترکیب اثرات محوشدن Rician پیشنهاد شد که برای مسیر خط دید قوی مانند FANET مناسب است. نتایج شبیه سازی نشان داد که مدل پیشنهادی قادر است که بسته را با آمار خطای غیرثابت شبیه سازی کند.

مدل انتشار رادیویی مبتنی بر Nakagami-m نیز برای ارتباط FANET در یک مطالعه پیشنهاد شد. Nakagami-m به طور مناسب با داده های تجربی اندازه گیری شده برای شبکه ی VANET مطابقت دارد. این مدل قدرت سیگنال دریافتی را برای محیط چندمسیری با اثرات محو پوششی برآورد می کند، و به عنوان تابع دو پارامتری نشان داده شد: میانگین قدرت سیگنال رادیویی دریافتی و شدت محوشدن. عبارت ریاضیاتی برای احتمال خروجی در کانال محو Nakagami-m برای شبکه ی UAV ناشی شده است.

تحلیل عملکرد رله ی چندحامل بر مبنای شبکه ی UAV به طور تحلیلی بر کانال های محو شدن مدل سازی شد. فرمول تحلیلی کلی برای احتمال خروجی لینک UAV به UAV و UAVبه زمین فراهم شد. بیان شد که مدل کانال محو شدن باید بر طبق محیط عملیاتی محاسبه شود. برای مثال، در حالیکه محوشدن Rayleigh می تواند برای کاربردهای محیط شلوغ با ارتفاع کم مناسب باشد، محو شدن Nakagami-m و Weibull با پارامترهای بالای محو شدن برای ماموریت های در فضای باز و ارتفاع بالا مناسب است.

4.1.2. ساختار آنتن FANET

ساختار آنتن یکی از مهم ترین عوامل برای معماری ارتباطی کارآمد FANET است. فاصله بین UAV طولانی تر از فاصله ی گره معمولی MANET و VANET است و مستقیما ساختار آنتن FANET را تحت تاثیر قرار می دهد. امواج رادیویی قدرتمند تر می توانند برای غلبه بر این مشکل مورد استفاده قرار گیرند اما از دست دادن لینک بالا و تنوع می تواند از فواصل طولانی تر نشات گیرد. به منظور غلبه بر این پدیده، گره های دریافتی متعدد می توانند به کار گرفته شوند تا نرخ تحویل بسته را با بهره برداری از تنوع فضایی و زمانی کانال بی سیم افزایش دهند. نشان داده شده است که گره گیرنده ی UAV همبستگی پذیرش ضعیفی در مقیاس زمانی کوتاه دارد که نهایتا استفاده از چندین فرستنده و گیرنده را به منظور بهبود نرخ تحویل ضروری می سازد.

نوع آنتن عامل دیگری است که عملکرد FANET را تحت تاثیر قرار می دهد. در ادبیات، دو نوع آنتن وجود دارد که برای کاربردهای FANET به کار رفته است: جهت دار و همه سویی. در حالیکه آنتن های همه سویی قدرت را در همه ی جهت ها منعکس می سازد، آنتن های جهت دار می تواند سیگنال را در جهت مورد نظر ارسال کند.

در محیط های بسیار متحرک، مانند FANET، موقعیت های گره مکررا تغییر می کند و آنتن های همه سویی دارای مزیت ارسال و دریافت سیگنال هستند. در آنتن های همه سویی، اطلاعات موقعیت گره مورد نیاز نیست. با این وجود، آنتن های جهت دار نیز به هنگام مقایسه با آنتن های همه سویی چندین مزیت دارند. ابتدا، محدوده ی انتقال آنتن های جهت دار طولانی تر از محدوده ارسال آنتن های همه سویی است.می تواند برای FANET جز مهم ترین مزایا به شمار آید که فاصله ی بین گره ها طولانی تر از فاصله بین گره های معمولی MANET است. محدوده ی ارسال طولانی تر، تعداد هاپ را کاهش می دهد و می تواند عملکرد تاخیر را افزایش دهد. بویژه، در برنامه های کاربردی FANET در زمان واقعی مانند نظارت نظامی، تاخیر یکی از مهم ترین عوامل طراحی است.

تبادلی بین محدوده ی ارتباطی و استفاده مجدد فضایی برای آنتن های همه سویی وجود دارد.سیستم های مبتنی بر آنتن های جهت دار می تواند مشکل محدوده ی ارتباطی و استفاده مجدد فضایی برای FANET را در یک زمان کنترل رسیدگی کند. در حالیکه می تواند محدوده ارتباطی را افزایش دهد، استفاده مجدد فضایی را محدود نمی سازد. بسته به قابلیت استفاده ی مجدد فضایی، ظرفیت شبکه با آنتن جهت دار بالاتر از ظرفیت شبکه با آنتن همه سویی است.

امنیت نیز موضوع دیگری است که می تواند با کمک آنتن های جهت دار افزایش یابد. سیستم های مبتنی بر آنتن های همه سویی نسبت به سیستم های مبتنی بر آنتن های جهت دار بیشتر مستعد به اختلال هستند.مقایسه ی مختصری از آنتن های جهت دار و همه سویی در جدول 2 آورده شده است.

جدول 2مقایسه ی آنتن های جهت دار و همه سویی برای FANET

ویژگی	**همه سویی**	**جهت دار**
جهت سیگنال	همه	مورد نظر
جهت گره	مورد نیاز نیست	مورد نیاز
محدوده ی ارسال	کوتاه تر	طولانی تر
تاخیر	بالاتر	پایین تر
استفاده مجدد فضایی	پایین تر	بالاتر
ظرفیت	پایین تر	بالاتر
مستعد بودن به اختلال	بالاتر	پایین تر

4.1.3. مسائل تحقیقاتی بررسی نشده

ویژگی های لایه فیزیکی، طراحی دیگر لایه ها و عملکرد کلی FANET را مستقیما تحت تاثیر قرار می دهد. مطالعات موجود مرتبط با لایه فیزیکی FANET که در جدول 3 خلاصه شده است، بر مدل انتشار رادیویی و ساختار آنتن متمرکز بوده است.

اگرچه گره ها در محیط 3D در برنامه های کاربردی FANET قرار گرفته اند، اما اکثر مطالعات موجود ساختار توپولوژی FANET 2D را در نظر می گیرند. مطالعات FANET نشان داده اند که رفتار آنتن در 3D می تواند از رفتار آنتن در 2D متفاوت باشد (51) و می تواند مستقیما لایه فیزیکی را تحت تاثیر قرار دهد. تحلیل عملکرد پروتکل های لایه ی فیزیکی موجود و توسعه ی طراحی های جدید لایه فیزیکی برای 3D مسائل بررسی نشده ای برای FANET است.

جدول 3مروری از لایه فیزیکی مطالعات مرتبط برای FANET

مطالعه ی لایه فیزیکی	توصیف کوتاه
شناسایی لینک های ارتباطی FANET	مناطق خاکستری در آزمایشات FANET مشاهده شد و نشان داد که مدل انتشار رادیویی UAV به UAV به مدل زمینی دو شعاعی نسبت به مدل فضای آزاد شبیه است.
مدلسازی کانال لینک های FANET	مدل مارکوف دو مرحله ای مبتنی بر محو Rician برای مدل کانال بی سیم بین UAVها گسترش یافت. شبیه سازی ها نشان داد که مدل پیشنهادی می تواند کاهش بسته را شبیه سازی کند.
مدل انتشار رادیویی مبتنی بر Nakagami-m	عبارت ریاضیاتی برای احتمال خروجی لینک بر کانال محو Nakagami-m برای FANETشکل گرفت
مدل خروجی کلی برای FANET	فرمول تحلیلی کلی برای خروجی لینک های UAV به UAV و UAV به زمین در کانال های محو متعدد تهیه شد. مدل های Rayleigh، Nakagami-m و Weibull به عنوان کانال های محو مورد مطالعه قرار گرفت
فرستنده و گیرنده متعدد	گره های گیرنده ی UAV می تواند اصلاح گیرنده ی ضعیف بسته را در مقیاس زمانی کوتاه بدست آورد. استفاده ی گیرنده و فرستنده متعدد نرخ تحویل بسته را به طور چشمگیری بهبود می بخشد.

4.2. لایه ی MAC

اگرچه MANET,VANET و FANET چالش ها و ویژگی های متفاوتی دارند، اما چندین ملاحظات طراحی دارند. اساسا، FANET زیرمجموعه ی خاصی از MANET و VANET است. در تحقیقی،FANETاز آنتن های همه سویی استفاده می کند که یکی از رایج ترین لایه های MAC مورد استفاده برای MANET است. .

4.2.1. چالش های لایه MAC در FANET

تحرک بالا یکی از متمایزترین ویژگی های FANET است و مشکلات جدیدی برای لایه MAC ارائه می دهد. به دلیل تحرک بالا و فواصل متفاوت بین گره ها، نوسانات کیفیت لینک مکررا در FANET اتفاق می افتد. تغییرات کیفیت لینک و خروجی لینک به طور مستقیم طراحی های MAC در FANET را تغییر می دهد. تاخیر بسته مشکل طراحی دیگر برای FANET MAC است. بویژه برای برنامه های کاربردی زمان واقعی، تاخیر بسته باید محدود باشد و چالش های جدیدی را تحمیل می کند. خوشبختانه، فناوری های جدیدی وجود دارد که می تواند برای برآورده کردن نیازهای FANET در لایه MAC مورد استفاده قرار گیرند. آنتن جهت دار و مدار رادیویی دوتایی کامل با پذیرش چندبسته مثال هایی از پیشرفت های تکنولوژی است که در لایه MAC در FANET مورد استفاده قرار می گیرد.

4.2.2. لایه MAC در FANET مبتنی بر آنتن جهت دار

آنتن های جهت دار نسبت به آنتن های همه سویی چندین مزیت برای FANET دارد همانطور که در بخش لایه فیزیکی نشان داده شده است. علاوه بر مزایای آنتن های جهت دار، مسائل طراحی منحصربفردی بویژه برای لایه MAC فراهم می کند. بررسی جامعی در مورد پروتکل MAC مبتنی بر آنتن جهت دار می تواند یافت شود.

درحالیکه بسیاری از لایه های MAC مبتنی بر آنتن جهت دار برای MANET و VANET پیشنهاد شدند، تحقیقاتی برای طراحی لایه MAC برای FANET با آنتن های جهت دار نیز موجود است. در گزارشی دیگر طرح پروتکل MAC تطبیقی برای UAV (AMUAV) طراحی کردند. در حالیکه AMUAV بسته ی کنترل اش را (RTS,CTS,ACK) با آنتن همه سویی ارسال می کند، بسته ی DATA توسط آنتن جهت دار ارسال می شود. ثابت شده است که پروتکل AMUAV

مبتنی بر آنتن جهت دار می تواند توان عملیاتی، تاخیر پایان به پایان و نرخ خطای بیت را برای سیستم های UAV متعدد بهبود بخشد.

4.2.3. لایه MAC با پذیرش امواج رادیویی کامل دوطرفه و چند بسته ای

در ارتباط بی سیم قدیمی، پذیرش و انتقال نمی تواند در یک زمان انجام شود. با پیشرفت های اخیر در مدار رادیویی، امکان تحقق ارتباط بی سیم Full-duplex (کامل دو طرفه) در یک کانال وجود دارد. محدودیت دیگر ارتباط بی سیم قدیمی در مورد پذیرش بسته است. اگر بیش از یک فرستنده وجود داشته باشد، گیرنده نمی تواند داده ها را به درستی دریافت کند. خوشبختانه، دریافت داده ها از بیش از یک منبع با کمک مدار رادیویی گیرنده چند بسته ای (MPR) ممکن است. مدارهای رادیویی MPR و Full-duplex (کامل دو طرفه) تاثیر بسزایی بر لایه FANET MAC دارد.

اطلاعات حالت کانال (CSI) یکی از مهم ترین پارامترها برای امواج رادیویی Full-duplex (کامل دو طرفه) است و این امکان وجود دارد که CSI بهتر را در محیطی بسیار پویا مانند FANET تعیین کرد. یک لایه FANET MAC مبتنی بر نشانه با امواج رادیویی full-duplex (کامل دو طرفه) و گیرنده بسته متعدد (MPR) پیشنهاد شد. هدف آن به روز رسانی متعدد CSI است تا اینکه UAV ها بتوانند اطلاعات CSI اخیر را در هر زمانی داشته باشند. ساختار مبتنی بر نشانه ی به روز رسانی های CSI برخوردهای بسته ها را حذف می کند. نتایج عملکرد اثربخشی لایه MAC پیشنهادی را نشان داده اند و حتی اگر دانش حاصل از کانال ناقص باشد.

4.2.4 مسائل تحقیق بررسی نشده

فراهم آوردن لایه FANET MAC قوی این ضرورت را ایجاد می کند که بر وظایف های چالش برانگیزی مانند گوناگونی کیفیت رابط که به دلیل تحرک بیشتر و فاصله زیاد بین گره ها ایجاد شده است، غلبه کرد. اگرچه نخستین بستر آزمون FANET از آنتن همه سویی استفاده کرده است، اما نمی تواند الزامات FANET را پاسخگو باشد. مطالعات کمی در مورد لایه FANET MAC وجود دارد که در جدول 4 ارائه شده است.

به منظور غلبه بر چالش های منحصر FANET، فناوری آنتن جهت دار که می تواند سیگنال را به جهت مطلوب ارسال کند، فناوری مناسبی است. برآورد موقعیت گره ها و به اشتراک گذاردن این اطلاعات مسائل مهمی برای لایه های MAC مبتنی بر آنتن جهت دار است و برای FANET چالش برانگیزتر است که گره ها بسیار متحرک هستند. اکثرلایه های MAC مبتنی بر آنتن های جهت دار موجود بر این فرض هستند که اطلاعات موقعیت با لایه های بالاتر حفظ می شود و نمی تواند راه حل قوی و یکپارچه ای در لایه MAC ارائه دهد. خدمات مکانیابی می تواند در لایه MAC به منظور یافتن موقعیت دیگر UAV ها ادغام شود که همواره مختصات خود را تغییر می دهند.

اگرچه چندین چالش منحصر FANET وجود دارد، فرصت هایی برای طراحی لایه MAC دارد. در بسیاری از طراحی های MANET، انرژی یکی از مهم ترین محدودیت های قابل توجه است. با این وجود، پروتکل های FANET باید بر UAV کار کند و هیچ محدودیت انرژی ای در UAV ها وجود ندارد. گره FANET نسبت به گره MANET می تواند سخت افزار پیشرفته تر را در بر گیرد. این فرصت می تواند جهت توسعه ی کارآمدتر لایه FANET MAC مورد استفاده قرار گیرد.

جدول 4مروری بر پروتکل لایه FANET MAC

پروتکل لایه MAC	توصیف کوتاه
طرح پروتکل MAC تطبیقی برای UAVها (AMUAV)	بسته های کنترل اش (RTC,CTS,ACK) را با آنتن همه سویی اش ارسال می کند و بسته ی DATA توسط آنتن جهت دار ارسال می شود. می تواند توان عملیاتی، تاخیر انتها به انتها و نرخ خطای بیت را برای سیستم UAV متعدد بهبود بخشد.
MAC نشانه	بر مبنای تکنیک مبتنی بر نشانه به منظور به روز رسانی کانالا اطلاعات و حالات لینک است. مشکل برخورد کد را با ساختار مبتنی بر نشانه حذف می کند. همچنین می تواند تاخیر را کاهش دهد و توان عملیاتی را با استفاده از مدار رادیویی MPR و full-duplex بهبود بخشد

4.3. لایه شبکه

مطالعات و آزمایشات اولیه ی FANET با پروتکل مسیریابی موجود MANET طراحی شد.

یکی از اولین آزمایشات پرواز با معماری FANET در SRI بین المللی انجام شد. در یک تحقیق، Topology Broadcast مبتنی بر Reverse-Path Forwarding (TBRPF) که اساسا پروتکل فعال است، به عنوان لایه شبکه به منظور به حداقل رساندن سربار مورد استفاده قرار گرفته است.

در تحقیقی دیگر بستر آزمون FANET دیگری با پروتکل مسیریابی منبع پویا (DSR) گسترش داده شد. انگیزه اصلی جهت انتخاب DSR ساختار واکنشی اش است. منبع سعی می کند که مسیری به یک مقصد بیابد تنها اگر داده هایی برای ارسال داشته باشد. مطالعات FANET دیگری نیز وجود دارد که از DSR استفاده می کند.محققانی بیان کردند که DSR مناسب تر از روش های فعال برای FANET است که گره ها بسیار متحرک هستند و توپولوژی ناپایدار می باشد.

به دلیل حرکت بالای گره های FANET، حفظ جدول مسیریابی مانند روش های فعال مطلوب نیست. با این وجود، یافتن مسیر تکراری پیش از هر تحویل بسته مانند مسیریابی واکنشی نیز می تواند جامع باشد. یک استراتژی مسیریابی تنها بر مبنای اطلاعات موقعیت گره ها می تواند نیازهای FANET را برآورده کند. راه حل های مسیریابی مبتنی بر موقعیت و واکنشی و فعال برای FANET مقایسه شده اند. نشان داده شد که مسیریابی بی حالت محیط (GPSR) که پروتکل مبتنی بر موقعیت است، عملکرد بهتری نسبت به راه حل های مسیریابی فعال و واکنشی دارد.محققانی چارچوب شبیه سازی شده ای گسترش دادند تا پروتکل های مسیریابی مبتنی بر موقعیت برای FANET را مطالعه کنند. بیان شد که پروتکل های مسیریابی مبتنی بر حمل و نقل جغرافیایی می تواند برای FANET ها مورد استفاده قرار گیرد. با این حال قابلیت اطمینان می تواند مشکل جدی ای در مورد استقرار پراکنده باشد. ترکیبی از دیگر روش ها مانند مسیریابی ظاهری باید برای کاربردهایی که نیاز به 100٪ اطمینان دارد مورد استفاده قرار گیرد.

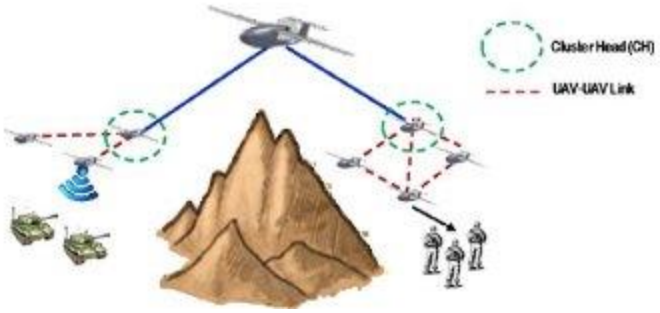
اگرچه اولین اجرای FANET از استراتژی مسیریابی MANET موجود استفاده کرده است، اکثر الگوریتم های مسیریابی MANET برای FANET ایده آل نیست که این به دلیل مسائل خاص UAV مانند تغییرات سریع در کیفیت لینک و حرکت بالای گره می باشد. بنابراین، راه حل مسیریابی خاص FANET در سال های اخیر گسترش یافته است.

محققانی یک پروتکل مسیریابی FANET با آنتن جهت دار به نام پروتکل مسیریابی حالت لینک بهینه شده ی جهت دار (DOLSR) پیشنهاد کردند. این پروتکل بر مبنای پروتکل مسیریابی حالت لینک بهینه شده ی شناخته شده (OLSR) است. یکی از مهم ترین عواملی که عملکرد OLSR را تحت تاثیر قرار می دهد انتخاب گره های رله چندنقطه ای (MPR) است.گره فرستنده مجموعه ای از گره های PMR را انتخاب می کند تا اینکه گره های MPR بتواند دو هاپ مجاور را پوشش دهد. از طریق استفاده از MPR، سربار پیام می تواند کاهش یابد و تاخبر به حداقل رسد. یکی از قطعی ترین پارامترها برای OLSR تعداد MPR است که تاخیر را به طور چشمگیری تحت تاثیر قرار می دهد. مطالعات شبیه سازی نشان داد که DOLSR می تواند تعداد MPR را با آنتن جهت دار کاهش دهد و منجر به تاخیر پایان به پایان پایین تری شود که مسئله طراحی مهمی برایFANET است.

پروتکل مسیریابی شکاف زمان بر تقاضا (Time slotted on demand) برای FANET پیشنهاد شده است. اساسا نسخه زمانی موقت مسیریابی بردار فاصله تقاضا (AODV) است. در حالیکه AODV بسته کنترل اش بر حالت دسترسی تصادفی است، پروتکل تقاضای شکاف زمان از زمان پیچیده ای استفاده می کند که در آن تنها گره می تواند بسته داده ها را ارسال کند. اگرچه پهنای باند شبکه قابل استفاده را کاهش می دهد، برخورد بسته را نیز کاهش میدهد و نرخ تحویل بسته را افزایش می دهد.

مسیریابی متمایل به تحرک موقعیت جغرافیایی (GPMOR) برای FANET پیشنهاد شد. راه حل مبتنی بر موقعیت سنتی تنها بر اطلاعات موقعیت گره ها متکی است. با این حال، GPMOR حرکت UAV را با مدل حرکت گوسین-مارکوف پیش بینی می کند و از این اطلاعات برای تعیین هاپ بعدی استفاده می شود. گزارش شده است که این رویکرد می تواند داده های موثری در قالب تاخیر و نرخ تحویل بسته در مقایسه با پروتکل مسیریابی MANET مبتنی بر موقعیت فراهم کند.

مجموعه دیگری از راه حل های مسیریابی برای FANET پروتکل های سلسله ای است که برای برطرف کردن مسئله ی مقیاس پذیری شبکه است. در اینجا، شبکه شامل تعداد خوشه در نواحی ماموریت متفاوت است. هر خوشه دارای یک سر خوشه (CH)، است و همه ی گره ها در خوشه در محدوده ی انتقال مستقیم CH هستند. CH در ارتباط با لایه بالاتر UAV یا ماهواره مستقیم یا غیرمستقیم است همانطور که در کل خوشه نشان داده می شود. از سوی دیگر، CH می تواند داده ها را با انتشار آن به اعضای خوشه منتشر کند. این مدل می تواند نتایج عملکردی بهتری ایجاد کند زمانی که ناحیه ماموریت بزرگ باشد و تعداد UAV ها بالاتر باشد همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است.



شکل 4. مسیریابی سلسله ای در FANET

یکی از مهم ترین مسائل طراحی برای مسیریابی سلسله ای شکل دهی خوشه است. خوشه بندی پیش بینی تحرک الگوریتم شکل دهی خوشه است که برای FANET گسترش یافته است. ساختار بسیار متحرک گره های FANET منجر به به روز رسانی مکرر خوشه می شود و هدف خوشه بندی پیش بینی تحرک حل کردن این مشکل با پیش بینی به روز رسانی توپولوژی شبکه است. ساختار تحرک UAV را با کمک الگوریتم پیش بینی ساختار dictironary Trie و مدل حرکت انقضای زمان حرکت پیش بینی می کند. مجموع وزن این مدل ها و UAV با بالاترین وزن در میان همسایگانش به عنوان CH انتخاب شده است. مطالعات شبیه سازی نشان داد که این طرح انتخاب CH می تواند ثبات خوشه و CH را افزایش دهد.

الگوریتم خوشه بندی برای شبکه UAV پیشنهاد شده است. در ابتدا خوشه هایی بر زمین شکل می دهد و سپس آن را در طول عمل سیستم UAV متعدد به روز رسانی می کند. برنامه خوشه بندی زمین، برنامه خوشه بندی را محاسبه می

کند و CH را بر طبق اطلاعات جغرافیایی انتخاب می کند. بعد از استقرار UAV، ساختار خوشه بر طبق اطلاعات ماموریت تنظیم می شود. مطالعات شیه سازی نشان داد که می تواند به صورت موثر پایداری را افزایش دهد و توانایی شبکه پویا را تضمین کند.

الگوریتم های مسیریابی داده محور می تواند برای FANET مورد استفاده قرار گیرد. UAV به طور منظم برای ماموریت های خاص برنامه کاربردی تولید می شود و تطبیق آن با سیستم UAV متعدد برای ماموریت های متفاوت دشوار است. راه حل های مسیریابی داده محور، می تواند برای FANET در انواع متفاوت برنامه ها در سیستم UAV متعدد به کار گرفته شود. مدل انتشار مشترک معمولا برای این نوع معماری ارتباطی مورد استفاده قرار می گیرد. به طور خودکار تولید داده ها را که انتشار دهنده نامیده می شود و همینطور مصرف کنندگان را که مشترکین نامیده می شوند را متصل می کند. راه حل های داده محور برای جمع آوری داده های شبکه مورد نیاز است. برخلاف سیل، تنها داده های ثبت شده را به مشترکین می فرستد. در این مورد، انتقال داده های نقطه ای به چندنقطه ای می تواند به انتقال داده های تقطه به نقطه ترجیح داده شود. ارتباطات داده محور در سه بعد جدا می شوند:

- جدا شدن فضا: طرفین ارتباط می توانند هرجایی باشند.
- زمان جدا شدن: داده می تواند بلافاصله یا بعدا به مشترکین فرستاده شود.
- جریان جدا شدن: تحویل می تواند به صورت قابل اطمینان انجام شود.

این مدل می تواند زمانی که سیستم شامل تعداد محدودی از UAV بر برنامه مسیر از پیش تعیین شده است ترجیح داده شود که نیازمند حداقل همکاری است.

4.3.1. مسائل تحقیق بررسی نشده

مسیریابی یکی از چالش برانگیزترین مسائل برای FANET است. به دلیل چالش های منحصر FANET، راه حل های مسیریابی موجود MANET نمی تواند همه ی الزامات FANET را برآورده کند. راه حل های مسیریابی FANET موجود در جدول 5 ارائه شده است.

ارتباط نظیر به نظیر برای همکاری و اجتناب از برخورد سیستم های UAV متعدد ضروری است. با این وجود، امکان استفاده از FANET برای جمع آوری اطلاعات از محیط مانند شبکه های حسگر بی سیم وجود دارد که الگوی ترافیک متفاوت را ایجاد می کند. همه ی داده ها به مجموعه ی محدودی از UAV ها مسیریابی می شوند که مستقیما به زیرساخت متصل هستند. توسعه ی الگوریتم جدید مسیریابی که می تواند ارتباط نظیر به نظیر و ترافیک Cast را پشتیبانی کند مسئله ی بررسی نشده است.

مسیریابی داده محور رویکرد امیدبخشی برای FANET است. به کمک معماری منتشر مشترک الگوریتم های داده محور، امکان تولید سیستم های UAV متعدد وجود دارد که می تواند برنامه های کاربردی متفاوت را ممکن سازد. تا بهترین دانش مان، الگوریتم های FANET داده محور کاملا کشف نشده است.

4.4. لایه حمل و نقل

موفقیت طراحی FANET کاملا به قابلیت اطمینان معماری ارتباطی مرتبط است و تنظیم مکانیزم حمل و نقل مطمئن بویژه برای محیط بسیار پویا ضروری است.

مسئولیت های اصلی پروتکل حمل و نقل FANET به شرح زیر است:

- قابلیت اطمینان: اطمینان همیشه مسئولیت اصلی پروتکل حمل ونقل در شبکه های ارتباطی است. پیام ها باید به طور قابل اطمینان به گره مقصد تحویل داده شود تا قابلیت مناسب را تضمین کند. داده ها ممکن است متن ساده/دوتایی باشند که در آن 100٪ اطمینان مورد نیاز است یا ممکن است جریان های چندرسانه ای باشند که در آن قابلیت اطمینان پایین قابل قبول است. پروتکل حمل و نقل FANET باید سطوح اطمینان متفاوتی را برای برنامه های کاربردی متفاوت FANET پشتیبانی کند.
- کنترل تجمع: پیامدهای معمولی شبکه متراکم کاهش در نرخ تحویل بسته است و تاخیر را افزایش می دهد. اگر FANET متراکم باشد، همکاری و اجتناب از برخورد بین UAV ها نمی تواند به درستی انجام شود. مکانیزم کنترل تجمع برای دستیابی به طراحی FANET کارآمد و قابل اطمینان ضروری است.

- کنترل جریان: به دلیل فرستنده ی سریع یا فرستنده متعدد، گیرنده ممکن است بیش از حد شود. کنترل جریان می تواند مشکل مهمی بویژه برای سیستم های UAV متعدد به شمار آید.

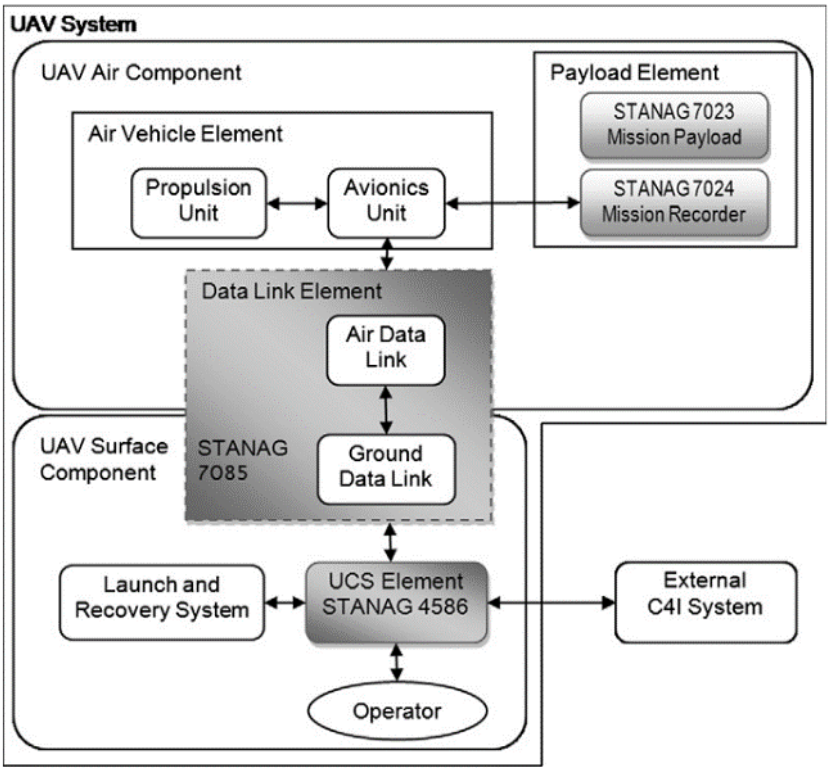
سیستم های FANET اولیه بر مبنای پروتکل حمل و نقل موجود اجرا شد.محققان سیستم UAV متعدد با معماری ارتباط FANET شکل دادند. بر مبنای آدرس دهی IP بود و لایه حمل و نقل سیستم هم طرح حمل و نقل TCP و هم UDP را پشتیانی می کرد. با این وجود، TCP در محیط های MANET ضعیف عمل می کرد و همچنین برای FANET نامناسب است. کنترل جریان TCP بر مبنای مکانیزم فریم دهی است و اندازه پنجره اش به صورت مداوم تغییر می کند. برآورد دقیقی از زمان حرکت رفت و برگشت مسئله ی چالش برانگیزی است.

معماری مشترک برای سیستم های بدون سرنشین (JAUS) استاندارد در حال ظهوری برای ارتباط بین سیستم های بدون سرنشین است. اگرچه، JAUS در ابتدا برای سیستم های زمینی به عنوان معماری مشترک برای سیستم های زمینی بدون سرنشین تولید شد، اما بعدا به همه نوع وسایل بدون سرنشین (هوایی، زمینی، سطح آب، و زیرآب) تعمیم داده شد. AS5669a ارتباطات داده ها را برای JAUS تعریف می کند، و استفاده از پروتکل حمل و نقل کارآمد را قادر می سازد که فرمت و معنای بسته ی خودشان را دارد. در AS5669a ، JTCP/JUDP در بالای TCP/UDP به عنوان چیزی که آن را می پوشاند طراحی شد. JAUS نیز پروتکل JSerial را برای حمل و نقل آشکار داده پیشنهاد می کند که طول بسته داده ها را به هنگام به کارگیری لینک سریال پهنای باند پشتیبانی می کند.

NATO توافق استانداردی (STANAG 4586) است که پروتکل حمل و نقل رایج را برای عملیات مرکزی شبکه بین گره ها در شبکه UAV متعدد تعریف می کند. هدف STANAG 4586، که در شکل 5 نشان داده شد، ارتقا میان عملی بودن بین یک یا چند ایستگاه شبکه کنترل زمینی، UAV و C4I (دستور، کنترل، ارتباط، کامپیوتر و هوش) بویژه در موارد عملیات مشترک باشد. برخلاف JAUS، STANAG 4586 بویژه برای سیستم های UAV پشتیبان توسعه یافت.

جدول 5مروری بر پروتکل لایه شبکه برای FANET

الگوریتم مرتبط به لایه شبکه	نوع مسیریابی	توصیف کوتاه
DOLRS	فعال	از آنتن جهت دار در OLRS استفاده می کند تا نرخ تحویل بسته را افزایش دهد و تاخیر متوسط را کاهش دهد
مسیریابی زمان بر تقاضا	واکنشی	طرح رزرو زمان را در AODV تعبیه می کند تا برخوردها را حذف کند
GPMOR	جغرافیایی	حرکت UAVها با مدل حرکت گوسین-مارکوف را پیش بینی می کند و از این اطلاعات برای تعیین هاپ بعدی استفاده می کند
خوشه بندی پیش بینی حرکت	سسله مراتبی	از الگوریتم ساختار دیکشنریTie و مدل حرکت زمان انقضا استفاده می کند تا به روزرسانی توپولوژی شبکه را پیش بینی کند. در این روش، می تواند شکل دهی خوشه ثابت را ایجاد کند
الگوریتم خوشه بندی شبکه UAV	سلسله مراتبی	خوشه ها را بر زمین ایجاد می کند و سپس خوشه ها را در طول عملیات سیستم UAV متعدد به روز رسانی میکند



شکل 5. معماری میان عملیاتی سیستم UAV با STANAG 4586.

4.4.1. مسائل تحقیق بررسی نشده

برخلاف شبکه های سیمی و MANET، FANET با گره های بسیار متحرک و لینک های ارتباطی بی سیم با نرخ خطای بیت بالا شناسایی شده است. آن ها خروجی لینک مکرری بر طبق موقعیت UAV و پایگاه زمینی دارند. قابلیت اطمینان مسئله ی مهمی برای لایه حمل و نقل FANET است.

برنامه های کاربردی FANET از نوع متفاوتی از داده ها مانند تصویر هدف، سیگنال صوتی یا ویدئویی از هدف متحرک استفاده می کند. این برنامه های کاربردی نیازمند سطح اطمینان متفاوتی هستند. در حالیکه داده های معمولی ارتباطی نیازمند پروتکل حمل و نقل 100٪ مطمئن هستند، قابلیت اطمینان برنامه های کاربردی چندرسانه ای پایین تر است. از سوی دیگر، ترافیک داده های چندرسانه ای نیازهای سخت تر دیگری در رله، پهنای باند و ناپایداری سیگنال دارند. بنابراین، راه حل لایه حمل و نقل جدید باید برای برطرف کردن نیازهای متفاوت برنامه کاربردی FANET گسترش یابد. تا اندازه دانش ما، هیچ لایه حمل و نقلی بویژه برای FANET طراحی نشده است. جنبه های بسیاری از FANET که پروتکل داده ی کارآمد و مطمئن را تحت تاثیر قرار می دهد، همچنان کشف نشده است.

4.5. معماری لایه متقاطع

اگرچه معماری لایه ای به خوبی برای شبکه های سیمی کار کرده است، اما برای برنامه های کاربردی ارتباطی بسیاری به خوبی کار نکرده اند. معماری لایه ای متقاطع برای غلبه بر مشکلات عملکرد محیط بی سیم پیشنهاد شده است. طراحی لایه متقاطع می تواند به عنوان طراحی پروتکل توسط نقض معماری ارتباطی لایه ای تعریف شود. روش های متعددی برای طراحی معماری لایه ای متقاطع وجود دارد. برخلاف اصول طراحی لایه ای، لایه های مجاور می تواند به عنوان سوپرلایه طراحی شود. پروتکل لایه متقاطع دیگر برای پشتیبانی از تعاملات بین لایه های غیرمجاور است. همچنین این امکان وجود دارد که پروتکل اطلاعات را در همه لایه ها به اشتراک گذارد تا نیازهای خاص برطرف شود.

معماری لایه متقاطع FANET معرفی شده است که تعامل بین سه لایه نخست مدل ارجاع OSI تسهیل شده است. در این مطالعه، پروتکل لایه MAC مبتنی بر آنتن جهت دار، پروتکل کنترل دسترسی میانی (IMAC-UAV) مورد استفاده قرار می گیرد. پروتکل مسیریابی حالت لینک بهینه شده ی جهت دار (DOLSR) لایه شبکه این سیستم است. طراحی لایه متقاطع بر مبنای اطلاعات به اشتراک گذاشته بین سه لایه نخست است. نشان داده شده است که بر مبنای تفاوت حالت هواپیما (چرخش، غلطش، و دوران)، عملکرد برنامه کاربردی FANET می تواند با کمک معماری لایه متقاطع بهبود یابد.

Huba و Shenoy الگوریتم درخت شبکه ای را بر مبنای آنتن جهت دار پیشنهاد کردند . این راه حل خوشه بندی و برنامه ریزی برای لایه MAC را به همراه استراتژی مسیریابی برای لایه شبکه ادغام می کند. می تواند لایه MAC و لایه شبکه را با الگوریتم تک کنترل کند که می تواند خوشه را شکل دهد، داده ها را از UAV به سرخوشه مسیریابی کند و شکاف زمان در TDMA مبتنی بر لایه MAC را برنامه ریزی کند. این رویکرد منجر به راه حل قوی و مقیاس پذیر می شود. مطالعات عملکرد نشان داده اند که می تواند نرخ تحویل بسته و تاخیر پایان به پایان را افزایش دهد.

4.5.1. مسائل تحقیقی بررسی نشده

همانند انواع دیگر شبکه های بی سیم بسیار پویا، معماری لایه متقاطع تکنیک موثری برای برآورده کردن نیازهای جدی FANET است. اگرچه مطالعاتی در مورد FANET لایه ای متقاطع وجود دارد که در جدول 6 ارائه شده است، اما موضوع برای پروتکل های جدید بسیار باز است. به کمک تعامل بین لایه ها، امکان افزایش عملکرد FANET وجود دارد. بویژه، حالت کیفیت لینک که به لایه فیزیکی مرتبط است می تواند پارامتر مهمی برای لایه های بالایی باشد. برای مثال، لایه حمل و نقل می تواند حالت عملیاتش را برای برآورده کردن نیازهای قابلیت اطمینان برنامه کاربردی FANET برطبق کیفیت لینک به روز رسانی کند. فرصت پروتکل لایه متقاطع دیگر ترکیب همه ی لایه ها به یک پروتکل است. این رویکرد لایه متقاطع یکپارچه می تواند در طراحی معماری FANET کارآمد تر برای سیستم های UAV متعدد کمک کند.

جدول 6پروتکل ارتباطی FANET لایه متقاطع

پروتکل لایه متقاطع	توصیف کوتاه
IMAC-UAV با DOLSR	از IMAC-UAV به عنوان لایه MAC و DOLSR به عنوان پروتکل لایه برای آنتن جهت دار استفاده می کند. سه لایه نخست از طریق مجموعه داده های به اشتراک گذاشته ارتباط برقرار کند. در این روش، پارامترهای انتقال می تواند به صورت پویا تنظیم شوند. تاخیر پایان به پایان را با توجه به پروتکل شبکه OLSR اصلی کاهش می دهد.
الگوریتم درخت مش	لایه MAC و لایه شبکه را در یک پروتکل ادغام می کند که می تواند خوشه ها را شکل دهد، داده را از UAV به سرخوشه مسیریابی کند و شکاف زمانی در لایه MAC مبتنی بر TDMA را برنامه ریزی کند. نرخ تحویل بسته و تاخیر پایان به پایان را افزایش می دهد.

5. نتیجه گیری

ارتباطات یکی از چالش برانگیزترین مسائل طراحی برای سیستم های UAV متعدد می باشد. در این مقاله، شبکه های موقت بین UAV به عنوان شبکه جداگانه ، شبکه موقت پرواز (FANET) مورد بررسی قرار گرفت. به صورت معمول FANET را تعریف کردیم و چندین مورد برنامه کاربردی برای FANET ارائه کردیم. همچنین تفاوت بین FANET و دیگر انواع شبکه موقت را در قالب حرکت، تراکم گره، تغییر توپولوژی، مدل انتشار امواج رادیویی، مصرف انرژی، قدرت محاسباتی و مکانیابی مورد بحث قرار دادیم. ملاحظات طراحی FANET نیز در قالب مقیاس پذیری، سازگاری، تاخیر، محدودیت سکوی UAV و پهنای باند مورد بررسی قرار گرفت. بررسی جامعی از ادبیات موجود در مورد FANET و دیگر مسائل مربوط در رویکرد لایه ای ارائه دادیم. بعلاوه، مسائل تحقیق بررسی نشده برای FANET به همراه طراحی های لایه ی متقاطع ارائه شد. بستر آزمون FANET و شبیه سازها نیز ارائه شده است.

6. منابع

1.J. George, P.B. Sujit, J. Sousa, Search strategies for multiple UAV search and destroy missions, Journal of Intelligent and Robotics Systems (2011).

2.E. Yanmaz, C. Costanzo, C. Bettstetter, W. Elmenreich, A discrete stochastic process for coverage analysis of autonomous UAV networks, in: Proceedings of IEEE Globecom-WiUAV, IEEE, 2010.

3. J. Elston, E.W. Frew, D. Lawrence, P. Gray, B. Argrow, Net-centric communication and control for a heterogeneous unmanned aircraft system, Journal of Intelligent and Robotic Systems (2009).

4. Y. Ben-Asher, S. Feldman, P. Gurfil, M. Feldman, Distributed decision and control for cooperative UAVs using ad hoc communication, IEEE Transactions on Control Systems Technology (2008).

5. B. Anderson, B. Fidan, C. Yu, D. Walle, UAV formation control: theory and application, in: V. Blondel, S. Boyd, H. Kimura (Eds.), Recent Advances in Learning and Control, Lecture Notes in Control and Information Sciences, Vol. 371, Springer, Berlin/Heidelberg, 2008.

6. H. Chen, F. Yu, H.C.B. Chan, V.C.M. Leung, A novel multiple access scheme in wireless multimedia networks with multi-packet reception, in: Proceedings of the 1st ACM Workshop on Wireless Multimedia Networking and Performance Modeling, WMuNeP '05, ACM, New York, NY, USA, 2005.
7. O. Bazan, M. Jaseemuddin, On the design of opportunistic MAC protocols for multihop wireless networks with beamforming antennas, IEEE Transactions on Mobile Computing (2011).