شبکه های Ad-Hoc پروازی (FANETs)

فائزه سنبلستان. دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر گرایش شبکه های کامپیوتری، موسسه آموزش عالی جهاددانشگاهی استان اصفهان

f_sombolastan@yahoo.com

محمدرضا مصلحی. عضو هیات علمی گروه کامپیوتر موسسه آموزش عالی جهاددانشگاهی استان اصفهان

moslehi@acecr.ac.ir

Archive of SID

چکیده

یکی از مهمترین مشکلات طراحی برای سیستم های چند منظوره ناوگان هوایی (بدون سرنشین)، ارتباطی است که برای همکاری و همیاری بین نیرو های هوایی مهم است. اگر همه ی UAV ها به طور مستقیم به یک زیرساخت،پایگاه هوایی و یا زمینی متصل باشند ارتباط بین پهباد ها می تواند از طریق زیر ساخت 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 های Ad-Hoc پروازی (FANETs) مورد بررسی قرار می گیرند که این شبکه ی Ad-Hoc متصل به UAV هستند. تفاوت های بین FANETs، MANETs(شبکه ی Ad-Hoc تلفن همراه) وVANET (شبکه Ad-Hoc بین خودرویی) در ابتدا مشخص می شوند و سپس چالش های اصلی FANET را به همراه پروتکل های موجود، FANET معرفی می گردد. و همچنین ما پروتکل های موجود FANET برای لایه های مختلف را نیز ارزیابی می کنیم.

مقدمه

از پیشرفت های سریع در فن آوری های الکترونیکی، سنسور و ارتباطات، می توان این نتیجه را گرفت که این امکان وجود دارد که سیستم های هواپیمایی بدون سرنشین (UAV)به صورت خودمختار می توانند پرواز کنند یا می تواند از راه دور آنها را اداره کرد.زیرااز قابلیت های همه جانبه، انعطاف پذیری، نصب آسان و هزینه های عملیاتی نسبتا کم، استفاده از UAV ها وعده داده می شودراه های جدید برای برنامه های نظامی و غیر نظامی، مانند جستجو و نابودی[1] عملیات نظارت مرزی،[2] مدیریت آتش سوزی،[3] رله برای شبکه های ad hoc، [5،4] برآورد باد، [6] نظارت بر فاجعه،[7] سنجش از راه دور[8] و نظارت بر ترافیک[9]. در این مقاله، به شبکه های ad_hoc پروازیظ(FANET)، اشاره شده است. شبکه های ادهاک ساده ترین نوع شبکه

www.SID.ir

های بیسیم است چرا که پیاده سازی آنها نیازمند زیرساخت و ابزار و همینطور تکنولوژی خاصی نمی باشد و به سادگی در هر زمان و مکان که نیاز باشد شبکه ای داشته باشیم قابل پیاده سازی هستند. از جنبه دیگر استفاده از این شبکه ها بسیار با صرفه تر می باشد چرا که در آنها به هیچ نقطه دسترسی و تجهیزات مسیریابی نیاز نیست (هر یک از گره ها می تواند نقش یک نود و یا یک مسیریاب داشته باشد).

- هزینه: هزینه های خرید و نگهداری از UAV های کوچک بسیار پایین تر از هزینه یک پهپاد بزرگ است
- مقیاس پذیری: استفاده از هواپیمای بدون سرنشین بزرگ تنها محدود است مقدار پوشش افزایش می یابد .با این حال، سیستم های چند پهبادی می توانند به راحتی مقیاس پذیری عملیات را گسترش دهند.
- سرعت بالا: ماموریت ها می توانندسریعتربا تعداد بیشتری از پهپادها تکمیل شوند .
- مقطع رادار کوچک: به جای یک مقطع رادار بزرگ، سیستم های چند UAV، مقادیر زیادی رادار را ایجاد می کنند که برای برنامه های نظامی بسیار مهم است.

اگرچه چندین مزیت سیستم های چند منظوره ی پهپاد وجود دارد، اما در مقایسه با سیستم های تک نفره، چالش های منحصر به فرد مانند ارتباطات نیز وجود دارد. در یک سیستم UAV تنها یک پایگاه زمینی یا یک ماهواره برای ارتباطات استفاده می شود. همچنین ممکن ارتباط بین هوابرد وپهباد یک سیستم کنترل برقرار شود. در همه موارد، ارتباطات واحد UAV بین نیروی هوایی و زیرساخت ها برقرار است. در حالی که تعداد هواپیماهای بدون سرنشین در سیستم های هوایی بدون سرنشین افزایش می یابد، طراحی معماری های شبکه کارآمد به عنوان یک مسئله حیاتی برای حل این مسئله ظاهر می شود.

2)سناریو های کاربردی FANET

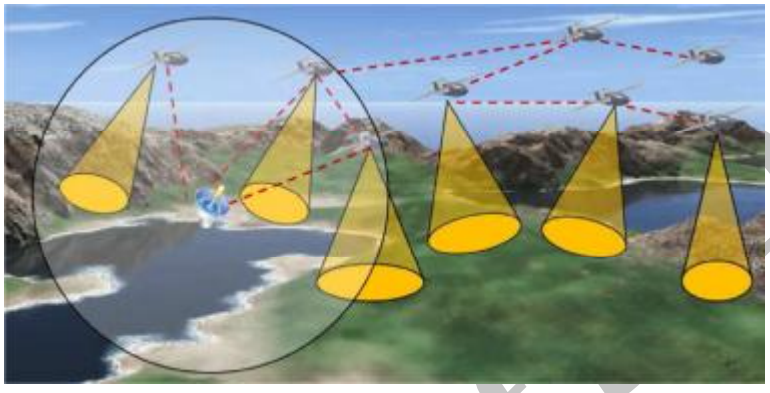
در این بخش، سناریوهای مختلف FANET مورد بحث قرار می گیرند.

2.1) گسترش مقیاس پذیری عملیات multi-UAV

اگر یک شبکه ارتباطی چند پهبادی(UAV) به طور کامل بر اساس یک زیرساخت، مانند یک ماهواره یا مرکز زمین، نصب شود، منطقه عملیاتی محدود به پوشش ارتباطی زیرساخت است. اگر یک پهباد(UAV) با زیرساخت بتواند ارتباط برقرار کند، کار نمی تواند انجام دهد. از سوی دیگر، FANET براساس پیوندهای داده

www.SID.ir
Archive of SID

ی UAV-to-UAV است می توان پیوند داده ها به پهپاد های زیرساخت هارا گسترش داد،حتی اگر یک گره FANET باشدنمی تواند یک ارتباط با زیرساخت داشته باشد،هنوز هم می تواند با برقراری ارتباط از طریق پهپادهای دیگر ارتباط برقرار کند. این سناریو در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1: یک سناریوی برای گسترش مقیاس پذیری سیستم های چند پهپادی در FANET

2.2 قابلیت اطمینان در ارتباطات چند پهپادی(UAV)

شبکه های FANET می توان شکل جدیدی از شبکه های MANET تعریف کرد که در آن گره ها، پهپاد ها هستند. با توجه به این تعریف، یک سیستم تک پهپاده شکلی از یک FANET نیست، بلکه برای سیستم چند پهپاده معتبر است. از سوی دیگر همه سیستم های چند پهپاده شکلی از FANET نیستند. ارتباط پهپاد ها باید متکی به شبکه های خود مختار بین پهپاد ها[1] باشد. بنابراین، اگر ارتباط بین پهپاد ها کاملا متکی به پیوند های ارتباطی پهپاد به زیرساخت باشد، نمی توان آن را به عنوان یک FANET طبقه بندی کرد.

2.3 گروهی از پهپاد هاUAV

پهپادها کوچک بسیار سبک و دارای ظرفیت کم هستند. به رغم قابلیت های محدود خود، هواپیماهای کوچک چندگانه می توانند با حرکت دسته ای خود ماموریت های پیچیده را انجام دهند [21]. حرکت دسته ای UAVs نیازمند کارهای هماهنگ است و پهپادها باید برای هماهنگی با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. با این حال، به دلیل کمبود بارهای کوچک هواپیماهای بدون سرنشین، ممکن است حملات سخت افزاری ارتباطات وسیع حمل ونقل هوایی به زیرساخت را نداشته باشد. FANET، که به سخت افزار نسبتا سبک تر و ارزان تر نیاز دارد،

[1] UAVs

www.SID.ir

می تواند برای ایجاد یک شبکه بین پهپادها کوچک استفاده شود. با کمک معماری FANET، هواپیماهای بدون سرنشین میتوانند از برخورد خود جلوگیری کنند و هماهنگی بین پهپادها میتواند باعث موفقیت در مأموریت شود.

3. ویژگی های طراحی FANET

قبل از بحث درباره ویژگی های FANET،یک تعریف رسمی از FANET و یک بحث مختصر در موردآن برای روشن شدن FANETما ارائه می دهیم. در این پژوهش شبکه های ادهاک پروازی FANET به طور مستقل، زیر مجموعه ای از شبکه ادهاک یا MANET در نظر گرفته شده است. از آنجا که گره ها در شبکه های FANET متحرک هستند و انرژی آنها از باتری تامین می شود، می بایست روش هایی مناسبی را به منظور صرفه جویی در مقدار انرژی مصرفی بکار برد .مسیریابی گره ها یکی از مهمترین عوامل موثر در مقدار انرژی مصرفی می باشد، زیرا این نوع شبکه از خود گره ها جهت مسیریابی استفاده می کند. در مقالات و پژوهش هایی که در این حوضه کار شده است، الگوریتم ها و پروتکل های مختلفی مسیریابی در شبکه های فنت ایجاد و تجزیه و تحلیل شده اند که هر کدام از آنها در جایگاه خود برای نوع خاصی از این شبکه با توپولوژی شبکه خاصی مناسب می باشد.

در ادبیات، تحقیقات مربوط به FANET مورد مطالعه قرار گرفته استتحت نام های مختلف به عنوان مثال، تیم ربات هوایی استیک سیستم چند منظوره ی مشترک و خودمختار، وبه طور کلی، معماری شبکه آن به طور خاص است[26]. در این بین، تیم های ربات های هوایی مبتنی بر مقتضا نیز می توانند به عنوان یک طراحی FANET مشاهده شوند با این حال، تیم ربات هوایی تحقیق می کندبیشتر تمرکز بر هماهنگی سیستم های چند پهبادی مشترک است، نه بر اساس ساختار شبکه، الگوریتم های پروتکل ها است[26]. یکی دیگر از موضوعات FANET مربوط به شبکه حسگر هوایی است[28-30] شبکه سنسور هوایی یک سنسور وحامی بسیار تخصصی تلفن همراه است تا گره ها UAV ها باشند. آن را در اطراف محیط حرکت می کند، با سنسورهای UAV ها حس می کند و اطلاعات جمع آوری شده را به پایگاه زمین می فرستد. علاوه بر این، می تواند با حامیان خود در هواپیماهای بدون سرنشین عمل کند تا مأموریت خود را انجام دهد. این یک مسئله که مشکل را به عنوان یک شبکه اختصاصی هواپیما یا شبکه سنسور هوایی نامگذاری کند. چالش های اصلی طراحی یک شبکه حسگر سنتی عبارتند از مصرف انرژی و تراکم گره [31]، و هیچ یک از آنها با سیستم های چند پهبادی مرتبط نیست. به طور کلی، UAV ها انرژی کافی برای پشتیبانی از سخت افزار ارتباطی خود دارند و تراکم گره یک سیستم چندین واحد UAV در مقایسه با شبکه های حسگر سنتی بسیار پایین است. با توجه به این بحث ها، بهتر است سیستم ارتباطی چند منظوره ی پهپاد را براساس پیوندهای UAV-to-UAV به

www.SID.ir
Archive of SID

عنوان یک شبکه اختصاصی مجاز به جای یک سنسور مخصوص شبکه است. یک شبکه اختصاصی ویژه ی UAV[32]موضوع دیگری است که نزدیک به FANET است.

3.1 تفاوت بین FANET و شبکه های موجود تک سرنشین

شبکه های ad hoc بی سیم به ترتیب اهداف آنهاطبقه بندی بهره برداری، گسترش، ارتباطات و مأموریت می شوند. با تعریف، FANET یک شکل از MANET است وبسیاری از ملاحظات طراحی مشترک برای MANET وجود داردو FANET علاوه بر این، FANET نیز می تواند طبقه بندی شودبه عنوان یک زیر مجموعه از VANET، که همچنین یک زیر گروه MANET است.این رابطه در شکل 2 نشان داده شده است. به عنوان یک تحقیق در حال ظهورمنطقه FANET ویژگی های مشترک بااین شبکه ها، و همچنین دارای چندین چالش طراحی منحصر به فرد است.در این بخش، تفاوت بین FANETو شبکه های خودمختار بی سیم موجود به شیوه ای دقیق توضیح داده شده است.

3.1.1 حرکت گره

مسائل مربوط به تحرک گره ها تفاوت قابل توجهی بین شبکه های FANET و دیگر شبکه های ad hoc است. حرکت گره های MANET در مقایسه باگره های VANET نسبتا کند تراست. در FANET درجه حرکت گره ها خیلی بیشتر از VANET و MANET است. با توجه به [16]یک UAVدارای سرعت 30-460 کیلومتر در ساعت است و این وضعیت نتایج و مشکلات چندین طرح ارتباطات چالش برانگیز را [33]دنبال می کند.

3.1.2 مدل متحرک

در حالی که گره های MANET در یک زمینه مشخص حرکت می کنند،گره ها VANET در زمینه های بیشتری حرکت می کنند و گره های FANET که پرواز در آسمان است. مدل متحرک MANETs به طور کلی مسیریابی تصادفی را اجرا می کنند [34]که در آن جهت و سرعت است از گره ها به طور تصادفی انتخاب می شوند. گره های VANET منحصر به حرکت در بزرگراه ها یا جاده ها هستند. بنابراین، مدل متحرک VANET بسیار قابل پیش بینی است.

Archive of SID

www.SID.ir

در برخی برنامه های کاربردی چند پهبادی برنامه های مسیر جهانی وجود دارد. در این حالت، پهبادهادر یک مسیراز پیش تعیین شده حرکت می کند، و مدل متحرک منظم است. درسیستم های خودمختار[2]چند پهبادی، برنامه پرواز از پیش تعیین نشده است.

حتی اگر یک سیستم چند منظوره از برنامه های پرواز از پیش تعیین شده استفاده کند،به دلیل تغییرات محیطی یا به روز رسانی ماموریت طرح پرواز ممکن است دوباره محاسبه شود. علاوه بر پرواز تغییرات برنامه ریزی شده، حرکات سریع و شدید UAV و تشکل های مختلف پهپاد به طور مستقیم بر مدل متحرک تاثیر می گذارد سیستم های چند پهبادی به منظور حل این مسئله، مدل متحرک FANET پیشنهاد شده است. [35]حرکت دایره ای شبه تصادفی مدل متحرک (SRCM) ارائه شده است که درمدل جنبش تصادفی پهباد، UAV ها به طور مستقل حرکت می کنند.بر اساس یک فرآیند مارکوف از پیش تعیین شده، هر نوع پهپادی تصمیم می گیرد که مسیر حرکتش را تعیین کند. [36] در مدل دوم، هواپیماهای بدون سرنشین نقشه را با یک ماده خاصی به نام فرومون[3] حفظ می کنند، که فضانوردان حرکت خود را هدایت کنند. هر هواپیمای بدون سرنشین آن را نشان می دهد مناطقی را بر روی این نقشه اسکن می کند و آنها به اشتراک می گذاردنقشه با پخش فراگیر برای به حداکثر رساندن پوشش،هواپیماهای بدون سرنشین ترجیح می دهند که حرکت را از طریق مناطقی که با کمترین فرومون نشان داده شده است انجام دهندکه استفاده از یک نمونه معمولی مدل متحرک MANET ممکن است به مسیر نامطلوب منجر شود. بنابراین می توان دید که این مدل تصادفی به صورت قابل ملاحظه ای ساده است، امامنجر به نتایج خوبی می شود.

شکل 2.MANET, VANET و FANET.

3.1.3 چگالی گره ها

[2] Ad-hoc
[3] pheromone

www.SID.ir

چگالی گره می تواند به عنوان میانگین تعداد گره ها در یک منطقه تعریف شود.گره ها ی FANET معمولادر آسمان پراکنده هستند، و فاصله بین UAV ها می تواند حتی برای سیستم های کوچک چند پهبادی چندین کیلومتر باشد. [37] در نتیجه چگالی گره ها FANET در پهبادها بسیار پایین تر از MANET و VANETاست.

3.1.4مدل پخش رادیو

تفاوت بین FANET و سایر محیط ها از عواملی است که بر روی پخش رادیویی تاثیر می گذارد .گره های MANETو VANET به طور قابل ملاحظه ای نزدیک به زمین هستند و در بسیاری از موارد بین فرستنده و گیرنده ارتباط مستقیم وجود ندارد .بنابراین، سیگنال های رادیویی عمدتا تحت تاثیر ساختار جغرافیایی زمین قرار می گیرند .با این حال، گره های FANET می توانند از زمین دور باشند و در اغلب موارد، بین نیروهای UAV قرار می گیرد.

3.1.5سنجش نقشه FANET

ویژگی های متمایز FANET سنجش نقشه منحصر به فرد را اعمال می کند. در این بخش، مهمترین سنجش نقشه FANET؛ سازگاری، مقیاس پذیری، تاخیر، ضرورت پهنای باند مورد بحث قرار گرفته است.

3.1.6. محلی کردن

محلی سازی جغرافیایی دقیق در هسته شبکه های خود مختار موبایل و همکاری است [40]. روش های محلی سازی موجود عبارتند از: سیستم موقعیت یابی جهانی[4]، پایه (یا ستون) و محلی سازی مبتنی بر نزدیکی[41].

درMANET ، سیستم موقعیت یابی جهانی معمولا برای دریافت مختصات استفاده می شوداز ترمینال ارتباطات تلفن همراه و اغلب اوقات، سیستم موقعیت یابی جهانی برای تعیین محل گره ها کافی است .هنگامی که سیستم موقعیت یابی جهانی در دسترس نیست، مانند در مناطق جنگلی متراکم، گره های مدرن و یا روش های مبتنی بر مجاورت نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در VANET، برای گیرنده ی GPS درجه ناوبری، وجود داردحدود 10-15 متر دقت، که می تواند قابل قبول برای مسیر راهنمایی است. با این حال، برای تعاونی کافی نیست برنامه های کاربردی ایمنی، مانند هشدار

[4] GPS

Archive of SID
www.SID.ir

برخورد برای اتومبیل،برخی از محققان از سیستم موقعیت یابی جهانی کمکی[5] و یا سامانه موقعیت‌یاب جهانی تفاضلی[6] استفاده می کنند با استفاده از برخی انواع مرجع بر اساس زمین ایستگاه برای اصلاح محدوده با دقت حدود 10 سانتی متراست.

به دلیل سرعت بالا و مدل های مختلف تحرک از سیستم های که چندین سیستم اطلاعات جغرافیایی، FANET نیاز به اطلاعات محلی بسیار دقیق را با فواصل زمانی کمتری دارد. سیستم موقعیت یابی جهانی اطلاعات موقعیت را در فاصله زمانی یک ثانیه فراهم می کند، و این ممکن است برای برخی از پروتکل های FANET کافی باشد در این مورد، هر کدام ازپهپاد باید با یک سیستم موقعیت یابی جهانی و یک واحد اندازه گیری درونی (IMU) مجهز باشد تا موقعیت خود را به سایر مکان ها در هر زمان ارائه دهند. IMU را می توان از طریق سیگنال سیستم موقعیت یابی جهانی کالیبراسیون کرد و بنابراین می تواند موقعیت را با سرعت بیشتری ارائه دهد.

به دلیل تفاوت های فوق بینFANET ، MANETوVANET ؛ ما ترجیح می دهیم FANET را به عنوان یک خانواده مجزا جداگانه بررسی کنیم .تفاوت بینMANET ، VANETو FANET در جدول 1 مشخص شده است.

جدول 1:مقایسه MANET,VANET, FANET

	MANET	**VANET**	**FANET**
حرکت گره	کم	زیاد	خیلی زیاد
مدل متحرک	تصادفی	منظم	برای مسیر های از پیش طراحی شده منظم است اما برای سیستم های چند منظوره خود مختار از مدل متحرک خصوصی
چگالی گره	کم	**زیاد**	خیلی کم
مدل پخش رادیویی	**نزدیک به زمین**	**نزدیک به زمین**	با فاصله از زمین
محلی کردن	GPS	GPS,AGPS,DGPS	GPS,AGPS,DGPS,IMU

3.1.7 مقیاس پذیری

[5]AGPS
[6] DGPS

Archive of SID
www.SID.ir

همکاری در پهباد ها می تواند عملکرد سیستم را در مقایسه با یک سیستم تک پهبادی بهبود بخشد. در واقع، این اصلی ترین انگیزه برای استفاده از سیستم مبتنی بر چند پهباد است. در بسیاری از برنامه های کاربردی، افزایش عملکرد با تعداد پهپادها ارتباط نزدیکی دارد. به عنوان مثال، تعداد بیشتری ازپهبادها می توانند یک جستجو و عملیات نجات سریع ترتکمیل کند [12]. پروتکل های FANETو الگوریتم ها باید طراحی شوند به طوری که هر تعداد از پهباد ها بتوانند با قابلیت اجرایی کم با یکدیگر کار کنند.

3.1.8 ضرورت پهنای باند

در بیشتر برنامه های FANET، هدف جمع آوری داده ها از محیط زیست و انتقال داده های جمع آوری شده به پایه زمین است به عنوان مثال، در نظارت و یا عملیات نجات؛ تصویر یا ویدئو منطقه هدف باید از پهبادها به اتاق فرمان انتقال یابد[12] . به یک مرکز کنترل با تاخیر بسیارکم وپهنای باند بالا نیاز است علاوه بر این، با کمک فن آوری های پیشرفته و سنسور، میتوان داده ها را با وضوح بسیار بالا جمع آوری کرد، و این باعث می شود که احتیاج به پهنای باند بیشتری باشد. همکاری و هماهنگی چندین جایگاه همچنین نیاز به منابع پهنای باند اضافی دارد.از سوی دیگر، استفاده از پهنای باند موجود محدودیت های زیادی دارد مانند:

- ظرفیت کانال ارتباطی
- سرعت UAVs
- ساختار خطای خطوط ارتباط بی سیم
- عدم امنیت با ارتباطات پخش.

یک پروتکل FANET باید ظرفیت پهنای باند مورد نیازرا برآورده کند تا بتواند رزولوشن بسیار بالا تصویر یا ویدئو در زمان واقعی تحت محدودیت های مختلف را ارائه دهد.

4. پروتکل های ارتباطی برای FANETs

در این بخش، ما پروتکل های موجود FANET برای لایه فیزیکی، لایه انتقال داده (MAC)، لایه شبکه، لایه حمل و نقل و همکاری های متقابل لایه را پیشنهاد می کنیم.

4.1.لایه فیزیکی

لایه فیزیکی با انتقال سیگنال اصلی ارتباط داردبافناوری هایی نظیر مدولاسیون یا کدگذاری سیگنالها . توالی های بیت داده های مختلف می توانند با یکدیگر متفاوت باشندشکل گیری با تغییر فرکانس، دامنه ومرحله

www.SID.ir

سیگنال به طور کلی، در لایه فیزیکی، بیت های داده به شکل موج های سینوسی انتقال می یابندبا استفاده از یک آنتن هوا را به هوا منتقل کنید.

عملکرد سیستم MANET بسیار وابسته به آن است لایه فیزیکی و تحرک بسیار بالایی باعث اضافی می شودمسائل مشکل در .FANETبه منظور توسعه قوی و معماری ارتباطات داده پایدار برای FANET،شرایط لایه فیزیکی باید کاملا درک شودو به خوبی تعریف شده است. به تازگی هواپیماهای بدون سرنشین به UAV و -UAVtoسناریوهای ارتباطات زمینی به طور گسترده ای بوده است در هر دو محیط شبیه سازی و زمان واقعی مورد مطالعه قرار گرفت.مدل های پخش رادیو و ساختار آنتن به عنوان عوامل کلیدی که طراحی لایه فیزیکی FANET را تحت تاثیر قرار می دهد مورد بررسی قرار گرفته است .

4.1.1 مدل پخش رادیو

امواج الکترومغناطیسی از فرستنده به گیرنده از طریق کانال های بی سیم پخش می شوند. مشخصه انتشار موج رادیویی به عنوان یک تابع ریاضی، به نام مدل سازی رادیویی منتشر می شود، بیان می کنیم[49] . محیط FANET در مقایسه با سایر انواع شبکه های بی سیم، چندین چالش منحصر به فرد را در رابطه با انتشار رادیویی دارد. برخی از چالش ها به شرح زیر خلاصه می شوند:

- تغییرات در فاصله ارتباطی.
- جهت جفت های ارتباطی در الگوی تابش آنتن.
- اثرات انعکاس زمین.
- سایه ای که از پلت فرم پهبادها (UAV)و تجهیزات الکترونیکی برقی به وجود آمده است.
- نتیجه برخورد هواپیما (زمین، رول، چرخش و غیره) بر کیفیت لینک بی سیم
- شرایط محیطی.
- نفوذ و تداخل خصمانه

به دلیل عوامل فوق، ارتباطات پیوندها در طول زمان در FANET ها کیفیت متفاوتی دارند.در این مطالعه، فضای آزاد[7] و انعکاسی[8] برای هر نوع لینک مقایسه می شود[51] و هنگامی که پهبادها به زمین نزدیک میشود می توان آن را در مناطق خاکستری مشاهده کرد .مناطق خاکستری نشان دادند مدل انتشار رادیویی پیوندهای UAV-to-UAV مشابه ما مدل انعکاسی و طراحان پروتکل FANET باید از حضور مناطق خاکستری آگاه باشد.

[7] Free space
[8] Two-ray ground

Archive of SID
www.SID.ir

4.2لایه MAC

تحرک بالا یکی از مشخص ترین خواص شبکهFANET است و ثمره وجود آن مشکلات جدید برای لایه MAC در شبکه ادهاک است. به دلیل تحرک بالا و فواصل مختلف بین گره‌ها، معمولا کیفیت پیوند در شبکه FANET نوسان می‌گیرد. تغییر کیفیت پیوند و قطع شدن پیوند تحت تاثیر طراحی MAC FANETقرار دارد.[34,32] تاخیر بسته ها یکی دیگر از مسائل طراحی MAC FANET است.

به ویژه برای کاربرد های بلادرنگ که زمان تاخیر بسته ها باید محدود باشد و چالش های جدیدی تحمیل می‌شوند. خوشبختانه، فناوری های جدیدی وجود دارند که می‌توانند برای رو به رو شدن با الزامات شبکه FANETدر لایه MAC مورد استفاده قرار گیرند. آنتن هدایتی و مدارهای انتشار کاملا دو طرفه با پذیرنده چند بسته ای نمونه های امیدوار کننده پیشرفت تکنولوژی هستند که می‌توانند در لایه MAC در شبکه ادهاک FANET مورد استفاده قرار بگیرند[58,64] .

4.2.1لایه MAC در شبکه ادهاک بر اساس آنتن هدایتی

آنتن هدایتی دارای مزایای متعددی نسبت به آنتن پخش کننده برای شبکه FANET است که به عنوان یک زیر بخش از لایه فیزیکی ارائه شده است. علاوه بر مزایای استفاده از آنتن جهت‌دار، مشکلات طراحی منحصر به فردی را به ویژه برای لایه MAC[9] به ارمغان می‌آورد. [65] در حالی که بسیاری از لایه های MAC مبتنی بر آنتن جهت‌دار برای شبکهVANET و شبکهMANET پیشنهاد شده‌اند. تحقیقات کمی در مورد طراحی لایه MACدر شبکه ادهاک فنت با آنتن های هدایتی وجود دارد.

4.2.2لایه MAC در شبکه ادهاک با رادیوی کاملا دو طرفه و پذیرنده چند بسته‌ای

در ارتباطات مرسوم بی‌سیم پذیرش و ارسال نمی‌توانند همزمان انجام شوند. با پیشرفت های اخیر در مدارات رادیویی، اکنون امکان تحقق بخشیدن به ارتباط کاملا دو طرفه بر روی یک کانال وجود دارد. یکی دیگر از محدودیت های ارتباطات مرسوم بی‌سیم، در مورد دریافت بسته ها است. اگر بیش از یک فرستنده وجود داشته باشد گیرنده نمی‌تواند همه‌ی بسته ها را به درستی دریافت کند. خوشبختانه دریافت داده ها از بیش از یک منبع با کمک مدارات رادیویی با پذیرنده چند بسته ای (MPR) ممکن شده است. مدارات رادیویی با پذیرنده چند بسته ای و کاملا دو طرفه اثرات قابل توجهی را در لایه MAC در شبکه ادهاک FANET ایجاد کرده‌اند.

www.SID.ir
Archive of SID

اطلاعات وضعیتی کانل(CSI) ، یکی از مهمترین پارامتر های ارسال از طریق امواج رادیویی کاملا دو طرفه است، و تعیین آن (CSI) برای محیط های بسیار پویای FANET تقریبا غیرممکن است. با بروز رسانی مکرر اطلاعات وضعیتی کانال پهباد ها می‌توانند اطلاعات آخرین وضعیت کانال ها را در هر زمان داشته باشند. ساختار مبتنی بر علامت به روز رسانی اطلاعات وضعیت کانال برخورد بسته‌ها را حذف می‌کند. نتایج عملکرد اثرات لایه MAC پیشنهادی را حتی اگر دانش کانال ها ناقص باشد نشان داده‌اند .

4.3لایه شبکه

مطالعات اولیه شبکه FANET و آزمایش های طراحی شده با پروتکل های مسیریابی شبکهMANET موجود است. یکی از اولین آزمایش های پرواز با معماری شبکه FANET در سازمان بین‌المللی SRI انجام شده است. [69]در این تحقیق، توپولوژی پخشی مبتنی بر ارسال مسیر – معکوس(پروتکلTBRPF) ، که در واقع یک پروتکل فعال است به عنوان لایه شبکه برای به حداقل رساندن سربار مورد استفاده قرار گرفته است. به خاطر تحرک بالای گره های شبکه FANET، ذخیره جدول مسیریابی در روش کنشی مطلوب نیست.

با این حال پیدا کردن راه های تکراری قبل از تحویل هر بسته در مسیریابی واکنشی، می‌تواند جامع باشد. یک استراتژی، تنها بر اساس اطلاعات موقعیتی از هر گره می‌تواند الزامات شبکه FANET را تامین کند.

اگرچه در پیاده سازی های اولیه شبکه FANET از استراتژی های مسیریابی شبکه MANET استفاده شد، بیشتر الگوریتم های مسیریابی شبکهMANET برای شبکه FANET به دلیل مسائل خاص پهبادها از قبیل تغییرات سریع در کیفیت پیوندها و تحرک بسیار بالای گره‌ها، ایده‌آل نیستند. بنابراین راه حل های مسیریابی خاص شبکه FANET در سال های اخیر توسعه یافته‌اند[70] .

یکی دیگر از مجموعه راه حل مسیریابی برای شبکه FANET پروتکل سلسله مراتبی است که برای رسیدگی به مشکل مقیاس پذیری شبکه توسعه پیدا کرده است. در اینجا شبکه شامل تعدادی گروه است که در مناطق مختلف عملاتی واقع شده‌اند. هر گروه، یک سرگروه دارد، و همه‌ی گره های موجود در محدوده انتقال مستقیما از یک سرگروه در یک گروه قرار دارند.

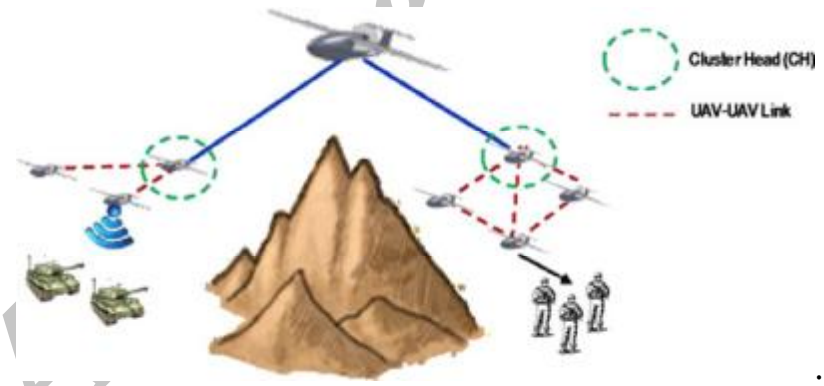
سرگروه با لایه بالاتر پهباد ها یا ماهواره به طور مستقیم در ارتباط است و یا به صورت غیر مستقیم به عنوان نماینده کل گروه است. از سوی دیگر سرگروه می‌تواند داده ها را به وسیله پخش در بین اعضای گروه منتشر کند. این مدل می‌تواند در زمانی که منطقه عملیاتی بزرگ و تعداد پهبادها زیاد است نتایج مطلوبی تولید کند.[68]پیش‌بینی ساختار متحرک پهباد ها با کمک الگوریتم پیش بینی ساختار درخت و زمان انقضای پیوند ها در مدل متحرک انجام می‌شود. به وسیله‌ی این مدل مجموعه ای از وزن ها به پهباد ها داده می‌شود و

www.SID.ir
Archive of SID

پهبادی که در میان همسایه ها وزن بالاتری دارد به عنوان سرگروه انتخاب می‌شود. بررسی های شبیه سازی شده نشان می‌دهد که طرح انتخاب سرگروه می‌تواند پایداری گروه ها و سرگروه ها را افزایش دهد.

پهبادها به طور منظم برای ماموریت های از الگوریتم های مسیریابی داده محورFANET استفاده می کنند. خاص تولید می‌شوند و این برای انطباق سیستم های چند پهباده در ماموریت های مختلف دشوار است. راه حل های مسیریابی داده محور می‌توانند برای انواع مختلفی از کاربرد های سیستم های چند پهباده استفاده .شود

انتشار معمولا برای نوعی از معماری ارتباطی استفاده می‌شود. این به طور خودکار داده های – مدل اشتراک متصل به هم ای تولید می‌کند که ناشر نامیده می‌شود و مصرف‌کننده‌ی داده که مشترک نامیده می‌شود. راه حل‌های داده محور به تجمع و تراکم داده ها در شبکه اجرایی نیاز دارند. برخلاف سیل، این تنها داده های ثبت شده ی نوع / محتوا را برای مشترک شدن پخش می‌کند. در این مورد، انتقال داده‌ها از یه نقطه به چند نقطه می‌تواند به انتقال داده از یک نقطه به یک نقطه ترجیح داده شود.



شکل3 : مسیریابی سلسله مراتبی در شبکهFANET

4.4لایه حمل و نقل

موفقیت طرح های FANET با قابلیت اطمینان معماری ارتباطی مرتبط است و ایجاد یک مکانیزم حمل و نقل قابل اعتماد به ویژه در یک محیط پویا بسیار ضروری است،. مسئولیت اصلی پروتکل حمل و نقل FANET به شرح زیر است:

- قابلیت اطمینان: قابلیت اطمینان همیشه مسئولیت اصلی پروتکل های حمل و نقل در شبکه های ارتباطی بوده است .پیام ها باید با اطمینان به مقصد گره منتقل شوند تا قابلیت های مناسب را

www.SID.ir

تامین نمایند .داده ها ممکن است متن ساده یا باینری باشند که در آن 100٪ قابلیت اطمینان مورد نیاز است یا ممکن است جریان های چند رسانه ای باشد که قابل اطمینان بودن کم باشد .پروتکل انتقال FANET باید سطح اطمینان مختلفی را برای برنامه های مختلف FANET پشتیبانی کند.

- کنترل ازدحام: عواقب معمول در ازدحام شبکه، کاهش میزان ارسال بسته و افزایش تاخیر است. اگر یک FANET پر شود، نمی توان از برخورد بین UAV ها اجتناب کرد .مکانیزم کنترل ازدحام برای طراحی FANET با قابلیت اطمینان و بهبود عملکرد لازم است
- کنترل جریان: به دلیل فرستنده سریع یا چند فرستنده گیرنده ممکن است بیش از حد باشد. کنترل جریان می تواند یک مشکل جدی به ویژه برای سیستم های پهبادی چندتایی ناهمگن باشد.

اولین سیستم FANET بر اساس سیستم پروتکل های حمل و نقل موجود اجرا شد. .این کار بر اساس آدرس IP ولایه حمل و نقل از سیستم پشتیبانی از هر دو TCP وطرح های حمل و نقل UDPانجام شد. با این حال، TCP انجام می شوددر محیط های MANET ضعیف است و همچنین مناسب نیست. FANETs قابلیت کنترل جریان TCP مبتنی بر است در مکانیزم فریم و تغییر اندازه پنجره آنبه طور مداوم برآورد دقیق زمان سفر دوریک مسئله چالش برانگیز است.

ارتباطات داده محور به سه نوع تقسیم می شود:

- فضای تجزیه شده: قسمت ها در هر نقطه‌ای می‌توانند ارتباط برقرار کنند.
- زمان تجزیه شده: داده‌ها را می‌توان به صورت بلافاصله یا بعدا به مشترکین ارسال کرد.
- جریان تجزیه شده: تحویل می‌تواند با اطمینان بالایی انجام شود.

این مدل می‌تواند برای سیستم هایی که شامل تعداد کمی پهباد با مسیر از پیش تعیین شده است که به همکاری کمتری نیاز دارند اجرا شود. مسیریابی یکی از مسائل چالش برانگیز شبکه FANET است. به علت چالش های منحصر به فرد شبکه FANET، راه حل های مسیریابی شبکه MANET موجود نمی‌توانند نیازمندی های شبکه FANET را برآورده کنند.

ارتباطات نظیر به نظیر برای هماهنگی و جلوگیری از برخورد سیستم های چند پهباده ضروری است. با این حال، ممکن است از شبکه FANET برای جمع‌آوری اطلاعات محیطی از طریق شبکه های حسگر بی‌سیم، که الگو های مختلف ترافیکی را تولید می کنند استفاده شود. تمامی داده‌ها در اختیار مجموعه‌ی محدودی از پهباد ها که به صورت مستقیم با زیرساخت ارتباطی ارتباط برقرار می‌کنند قرار می‌گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

مسیریابی داده محور یک روش امید بخش برای شبکه FANET است. با کمک معماری اشتراک – انتشار الگوریتم های داده محور، تولید سیستم های چند پهپاده‌ای که از کاربرد های مختلف پشتیبانی می‌کنند می‌تواند ممکن شود.

5. نتیجه گیری

ارتباطات یکی از مسائل مربوط به طراحی چالش برانگیز برای سیستم های چند پهپادی است. در این مقاله، شبکه های مرسوم بین پهپادها به عنوان یک خانواده شبکه جداگانه، شبکه حمل و نقل هوایی (FANET)مورد بررسی قرار گرفت. ما رسما FANET را تعریف کردیم و چندین سناریو کاربرد FANET را ارائه شد. ما همچنین در مورد تفاوت بین FANET و دیگر انواع شبکه های اختصاصی از لحاظ تحرک، چگالی گره، مدل پخش رادیویی و محلی سازی بحث کردیم. ملاحظات طراحی FANET نیز به عنوان سازگاری، مقیاس پذیری، و پهنای باند مورد بررسی قرار گرفته شد. ما یک بررسی جامع از ادبیات اخیر در مورد FANET ها و مسائل مرتبط در یک رویکرد لایه ای ارائه می دهیم.

منابع

1] J. George, P.B. Sujit, J. Sousa, Search strategies for multiple UAV search and destroy missions, Journal of Intelligent and Robotics Systems 61 (2011) 355–367.
[2] Z. Sun, P. Wang, M.C. Vuran, M. Al-Rodhaan, A. Al-Dhelaan, I.F. Akyildiz, BorderSense: border patrol through advanced wireless sensor networks, Ad Hoc Networks 9 (3) (2011) 468–477.
[3] C. Barrado, R. Messeguer, J. Lopez, E. Pastor, E. Santamaria, P. Royo, Wildfire monitoring using a mixed air-ground mobile network, IEEE Pervasive Computing 9 (4) (2010) 24–32.
[4] E.P. de Freitas, T. Heimfarth, I.F. Netto, C.E. Lino, C.E. Pereira, A.M. Ferreira, F.R. Wagner, T. Larsson, UAV relay network to support WSN connectivity, ICUMT, IEEE, 2010, pp. 309–314.
[5] F. Jiang, A.L. Swindlehurst, Dynamic UAV relay positioning for the ground-to-air uplink, in: IEEE Globecom Workshops, 2010.
[6] A. Cho, J. Kim, S. Lee, C. Kee, Wind estimation and airspeed calibration using a UAV with a single-antenna GPS receiver and pitot tube, IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems 47 (2011) 109–117.
[7] I. Maza, F. Caballero, J. Capitan, J.R. Martinez-De-Dios, A. Ollero, Experimental results in multi-UAV coordination for disaster management and civil security applications, Journal of Intelligent and Robotics Systems 61 (1–4) (2011) 563–585.
[8] H. Xiang, L. Tian, Development of a low-cost agricultural remote sensing system based on an autonomous unmanned aerial vehicle, Biosystems Engineering 108 (2) (2011) 174–190.
[9] E. Semsch, M. Jakob, D. Pavlicek, M. Pechoucek, Autonomous UAV Surveillance in Complex Urban Environments, in: Web Intelligence, 2009, pp. 82–85.
[10] H. Chao, Y. Cao, Y. Chen, Autopilots for small fixed-wing unmanned air vehicles: a survey, in: International Conference on Mechatronics and Automation, 2007 (ICMA 2007), 2007, pp. 3144–3149.

Archive of SID

www.SID.ir

[11] B.S. Morse, C.H. Engh, M.A. Goodrich, UAV video coverage quality maps and prioritized indexing for wilderness search and rescue, in: Proceedings of the 5th ACM/IEEE International Conference on Human–Robot Interaction, HRI '10, Piscataway, NJ, USA, 2010, pp. 227–234.
[12] 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.
[13] L. To, A. Bati, D. Hilliard, Radar cross-section measurements of small unmanned air vehicle systems in non-cooperative field environments, in: 3rd European Conference on Antennas and Propagation, 2009 (EuCAP 2009), IEEE, 2009, pp. 3637–3641.
[14] E.W. Frew, T.X. Brown, Networking issues for small unmanned aircraft systems, Journal of Intelligent and Robotics Systems 54 (1– 3) (2009) 21–37.
[15] M. Rieke, T. Foerster, A. Broering, Unmanned aerial vehicles as mobile multi-platforms, in: The 14th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 18–21 April 2011, Utrecht, Netherlands, 2011.
[16] J. Clapper, J. Young, J. Cartwright, J. Grimes, Unmanned Systems Roadmap 2007–2032, Tech. rep., Dept. of Defense, 2007.
[17] T.X. Brown, B.M. Argrow, E.W. Frew, C. Dixon, D. Henkel, J. Elston, H. Gates, Experiments Using Small Unmanned Aircraft to Augment a Mobile Ad Hoc Network (2007) 123–145. ISBN-13: 9780521895842
[18] 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 56 (1–2) (2009) 199–232.
[19] P. Olsson, J. Kvarnstrom, P. Doherty, O. Burdakov, K. Holmberg, Generating UAV communication networks for monitoring and surveillance, in: Proceeding of the 11th International Conferenceon Control, Automation, Robotics and Vision (ICARCV), Singapore,
2010.
[20] T. Samad, J.S. Bay, D. Godbole, Network-centric systems for military operations in urban terrain: the role of UAVs, Proceedings of the IEEE 95 (1) (2007) 92–107.
[21] A. Burkle, F. Segor, M. Kollmann, Towards autonomous micro UAV swarms, Journal of Intelligent and Robotics Systems 61 (1–4) (2011) 339–353.
[22] S. Chaumette, R. Laplace, C. Mazel, R. Mirault, A. Dunand, Y. Lecoutre, J.-N. Perbet, CARUS, an operational retasking application for a swarm of autonomous UAVs: first return on experience, in: Military Communication Conference – MILCOM 2011, 2011, pp. 2003–2010.
[23] 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 16 (3) (2008) 511–516.
[24] A. Alshbatat, Q. Alsafasfeh, Cooperative decision making using a collection of autonomous quadrotor unmanned aerial vehicle interconnected by a wireles communication network, in: Proc. Of 2nd Word Conference on Information Technology, WCIT-2011, 2011.
[25] M. Quaritsch, K. Kruggl, D. Wischounig-Strucl, S. Bhattacharya, M. Shah, B. Rinner, Networked UAVs as aerial sensor network for disaster management applications, Elektrotechnik und Informationstechnik 127 (3) (2010) 56–63.
[26] S. Cameron, S. Hailes, S. Julier, S. McClean, G. Parr, N. Trigoni, M. Ahmed, G. McPhillips, R. de Nardi, J. Nie, A. Symington, L. Teacy, S. Waharte, SUAAVE: Combining aerial robots and wireless networking, in: 25th Bristol International UAV Systems Conference, 2010.
[27] F. Morbidi, C. Ray, G.L. Mariottini, Cooperative active target tracking for heterogeneous robots with application to gait monitoring, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2011, pp. 3608–3613.
[28] A. Purohit, P. Zhang, SensorFly: a controlled-mobile aerial sensor network, in: Proceedings of the 7th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, SenSys '09, ACM, New York, NY, USA, 2009, pp. 327–328.
[29] M.I. Akbas, D. Turgut, APAWSAN: actor positioning for aerial wireless sensor and actor networks, in: Proceedings of the 2011 IEEE 36th Conference on Local Computer Networks, LCN '11, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2011, pp. 563–570.

Archive of SID

www.SID.ir

[30] J. Allred, A. Hasan, S. Panichsakul, W. Pisano, P. Gray, J. Huang, R. Han, D. Lawrence, K. Mohseni, Sensorflock: an airborne wireless sensor network of micro-air vehicles, in: Proceedings of the 5th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, ACM, 2007, pp. 117–129.
[31] J. Yick, B. Mukherjee, D. Ghosal, Wireless sensor network survey,Computer Networks 52 (12) (2008) 2292–2330.
[32] T.X. Brown, S. Doshi, S. Jadhav, J. Himmelstein, Test bed for awireless network on small UAVs, in: Proc. AIAA 3rd ‘‘Unmanned Unlimited’’ Technical Conference, 2004, pp. 20–23.
[33] Z. Han, A.L. Swindlehurst, K.J.R. Liu, Optimization of MANET connectivity via smart deployment/movement of unmanned air vehicle, IEEE Transactions on Vehicular Technology 58 (2009) 3533–3546.
[34] T.X. Brown, B. Argrow, C. Dixon, S. Doshi, R.-G. Thekkekunnel, D. Henkel, Ad Hoc UAV ground network (AUGNet), in: USENIX Technical Conference, 2004.
[35] W. Wang, X. Guan, B. Wang, Y. Wang, A novel mobility model based on semi-random circular movement in mobile ad hoc networks, Information Science 180 (3) (2010) 399–413.
[36] E. Kuiper, S. Nadjm-Tehrani, Mobility models for UAV group reconnaissance applications, in: Proceedings of International Conference on Wireless and Mobile Communications, IEEE Computer Society, 2006, p. 33.
[37] 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,
[38] E. Yanmaz, R. Kuschnig, C. Bettstetter, Channel measurements over 802.11a-based UAV-to-ground links, in: GLOBECOM Wi-UAV Workshop, 2011, pp. 1280–1284.
[39] A. Purohit, F. Mokaya, P. Zhang, Collaborative indoor sensing with the sensorfly aerial sensor network, in: Proceedings of the 11thInternational Conference on Information Processing in Sensor Networks, IPSN, ACM, New York, NY, USA, 2012, pp. 145–146.
[40] S. Misra, S. Bhardwaj, Secure and robust localization in a wireless ad hoc environment, IEEE Transactions on Vehicular Technology 58 (2009) 1480–1489.
[41] J. Wang, R. Ghosh, S. Das, A survey on sensor localization, Journal of Control Theory and Applications 8 (2010) 2–11.
[42] H.-S. Ahn, C.-H. Won, DGPS/IMU integration-based geolocation system: airborne experimental test results, Aerospace Science and Technology 13 (2009) 316–324.
[43] A.K. Wong, T.K. Woo, A.T.-L. Lee, X. Xiao, V.W.-H. Luk, K.W. Cheng, An AGPS-based elderly tracking system, in: International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 2009.
[44] D. Jung, P. Tsiotras, Inertial attitude and position reference system development for a small UAV, in: Proc. of 26th AIAA Aeroacoustic Conference, 2007.
[45] G. Mao, S. Drake, B.D.O. Anderson, Design of an extended Kalman filter for UAV localization, in: Information, Decision and Control, 2007.
[46] J. Baillieul, P.J. Antsaklis, Control and communication challenges in networked real-time systems, Proceedings of the IEEE 95 (2007) 9– 28.
[47] J. Li, Y. Zhou, L. Lamont, Packet delay in networked multi-UAV systems, in: Proc. of the 26th International UAV Systems Conference, 2011.
[48] H. Zhai, Y. Kwon, Y. Fang, Performance analysis of IEEE 802.11 MAC protocols in wireless LANs: research articles, Wireless Communications and Mobile Computing 4 (8) (2004) 917–931.
[49] T. Rappaport, Wireless Communications: Principles and Practice, second ed., Prentice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ, USA, 2001.
[50] D. Hague, H.T. Kung, B. Suter, Field experimentation of COTS-based UAV networking, in: Proceedings of the 2006 IEEE Conference on Military Communications, MILCOM’06, IEEE Press, Piscataway, NJ, USA, 2006, pp. 1942–1948.
[51] N. Ahmed, S. Kanhere, S. Jha, Link characterization for aerial wireless sensor networks, in: GLOBECOM Wi-UAV Workshop, 2011, pp. 1274–1279.
[52] Y. Zhou, J. Li, L. Lamont, C. Rabbath, Modeling of packet dropout for UAV wireless communications, in: International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), IEEE, 2012, pp. 677–682.

Archive of SID

www.SID.ir

[53] I.Y. Abualhaol, M.M. Matalgah, Outage probability analysis in a cooperative UAVs network over nakagami-m fading channels, in: IEEE Conference on Vehicular Technology, 2006, pp. 1–4.
[54] V. Taliwal, D. Jiang, H. Mangold, C. Chen, R. Sengupta, Empirical determination of channel characteristics for DSRC vehicle-tovehicle communication, in: Vehicular Ad Hoc Networks, 2004, p.88.
[55] J. Yin, G. Holl, T. Elbatt, F. Bai, H. Krishnan, DSRC channel fading analysis from empirical measurement, in: Proceedings of the 1st IEEE International Workshop on Vehicle Communications and Applications (Vehiclecomm), 2006, pp. 25–27.
[56] I.Y. Abualhaol, M.M. Matalgah, Performance analysis of cooperative multi-carrier relay-based UAV networks over generalized fading channels, International Journal of Communication Systems 24 (8) (2011) 1049–1064.
[57] H.T. Kung, C.-K. Lin, T.-H. Lin, S.J. Tarsa, D. Vlah, Measuring diversity on a low-altitude UAV in a ground-to-air wireless 802.11 mesh network, in: IEEE Globecom Workshops, 2010.
[58] J.I. Choi, M. Jain, K. Srinivasan, P. Levis, S. Katti, Achieving single channel, full duplex wireless communication, in: Proceedings of the Sixteenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, MobiCom '10, ACM, New York, NY, USA, 2010, pp.1–12.
[59] R. Ramanathan, On the performance of ad hoc networks with beamforming antennas, in: Proceedings of the 2nd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing, MobiHoc '01, ACM, New York, NY, USA, 2001, pp. 95–105.
[60] O. Bazan, M. Jaseemuddin, On the design of opportunistic MAC protocols for multihop wireless networks with beamforming antennas, IEEE Transactions on Mobile Computing 10 (3) (2011) 305–319.
[61] Z. Huang, C.-C. Shen, A comparison study of omnidirectional and directional MAC protocols for ad hoc networks, in: Global Telecommunications Conference, GLOBECOM, IEEE, 2002.
[62] G. Noubir, On connectivity in ad hoc networks under jamming using directional antennas and mobility, in: Wired/Wireless Internet Communications, Lecture Notes in Computer Science, vol. 2957, Springer, Berlin/Heidelberg, 2004, pp. 521–532.
[63] P. Chatzimisios, A.C. Boucouvalas, V. Vitsas, Effectiveness of RTS/ CTS handshake in IEEE 802.11 a wireless LANs, Electronics Letters 40 (14) (2004) 915–916.
[64] 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, pp. 24–31.
[65] Bazan, Osama, Jaseemuddin, Muhammad, A survey on MAC protocols for wireless adhoc networks with beamforming antennas, IEEE Communications Surveys Tutorials 14 (2) (2012) 216–239.
[66] A.I. Alshbatat, L. Dong, Adaptive MAC protocol for UAV communication networks using directional antennas, in:Proceedings of International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2010, pp. 598–603.
[67] Y. Cai, F. Yu, J. Li, Y. Zhou, L. Lamont, MAC performance improvement in UAV ad-hoc networks with full-duplex radios and multi-packet reception capability, in: Proc. of IEEE International Conference on Communications (ICC), Ottawa, Canada, 2012, pp. 523-527.
[68] B.R. Bellur, M.G. Lewis, F.L. Templin, An ad hoc network for teams of autonomous vehicles, in: Proc. First Annual Symposium on Autonomous Intelligence Networks and Systems, AINS Symposium, 2002.
[69] B. Bellur, R.G. Ogier, A reliable, efficient topology broadcast protocol for dynamic networks, Proceedings of Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, INFOCOM '99, vol. 1, IEEE, 1999, pp. 178–186.
[70] T. Brown, S. Doshi, S. Jadhav, D. Henkel, R. Thekkekunnel, A full scale wireless ad hoc network test bed, in: Proc. of International Symposium on Advanced Radio Technologies, Boulder, CO, 2005, pp. 50–60.
[71] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Dynamic source routing in ad hoc wireless networks, in: T. Imielinski, H.F. Korth (Eds.), Mobile Computing, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, vol. 353, Springer, US, 1996, pp. 153–181.

Archive of SID

www.SID.ir