فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال سوم، شماره یک، بهار ۱۳۹۸

ارائه یک چارچوب مدیریتی خودمختار برای شبکه های فرماندهی و کنترل با استفاده از حلقه کنترلی تطبیقی MAPE-K

محمدرضا پارسائی[۱]، رضا سپهوند[۲]، رضا جاویدان[۳]، بیژن عباسی آرند[۴*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۳۰

چکیده

در شبکه های فرماندهی و کنترل جهت اطمینان از عملیاتی بودن سنسورها (که دارای اهمیت زیادی می باشد)، بایستی هر سنسور امکان ارزیابی وضعیت خود و ارسال به لایه های بالاتر فرماندهی و کنترل را داشته باشد. اطلاع از وضعیت سنسورها از راه دور نیازمند ارسال حجم زیادی از داده های عیب یابی هر سنسور به سطوح بالاتر فرماندهی و کنترل است که باعث دریافت حجم زیادی از داده ها در لایه های بالای فرماندهی و کنترل، اشغال پهنای باند شبکه و ایجاد سربار زیاد برای پردازشگرها می شود. در این پژوهش یک چارچوب مدیریتی خود مختار بر اساس حلقه کنترلی تطبیقی **MAPE-K** به منظور کنترل و مانیتورینگ سنسورهای فرماندهی و کنترل بدون ایجاد سربار قابل ملاحظه برای سطوح فرماندهی و کنترل ارائه شده است و در جهت کاهش حجم تبادل داده های تحت شبکه در میان تجهیزات شبکه فرماندهی و کنترل، یک راهکار سلسله مراتبی برای فاز نظارت این چارچوب، ارائه شده است. همچنین به منظور تبادل داده های سنسورها با مراکز فرماندهی و کنترل از یک پروتکل مبتنی بر **XML** پیشنهادی استفاده شده است که داده های دریافتی از سنسورها را با پروتکل دلخواه دریافت کرده و با تبدیل به پروتکل مبتنی بر **XML** برای مراکز فرماندهی و کنترل ارسال می کند و از طرفی دستورات دریافتی از مراکز فرماندهی و کنترل با فرمت **XML** را به فرمت مورد نیاز سنسورها تبدیل کرده و به آنها اعمال می کند. نتایج ارزیابی کارایی نشان می دهد که درصد کمی از پهنای باند شبکه به این موضوع اختصاص پیدا می کند و از طرفی با توجه به توزیع سیستم مدیریتی، سربار کمی برای سیستم های پردازشی ایجاد می شود و ضمن اطمینان از صحت عملکرد سنسورها، در صورت نیاز، اطلاعات کامل سنسورها قابل دستیابی است.

واژگان کلیدی: حلقه **MAPE-K**، شبکه های ارتباطی، فرماندهی و کنترل، **XML**

[۱] دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی کامپیوتر و IT – mr.parsaei@sutech.ac.ir

[۲] دانشجوی دکتری دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی کامپیوتر و IT – r.sepahvand@sutech.ac.ir

[۳] دانشیار دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی کامپیوتر و IT – javidan@sutech.ac.ir

[۴*] نویسنده مسئول، استادیار دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - abbasi@modares.ac.ir

۱. مقدمه

مراقبت از فضای کشور، نیازمند کنترل ترددها به فضای کشور است. کنترل ترددها به یک محدوده از فضا توسط یک رادار انجام می شود. کنترل یک منطقه از کشور توسط مجموعه ای از رادارها انجام می شود که اطلاعات آنها در یک مرکز عملیات منطقه ای[1] تجمیع شده و در مورد آن منطقه تجزیه و تحلیل و تصمیم گیری انجام می شود. کنترل کل فضای کشور با تجمیع اطلاعات مراکز عملیات منطقه ای مختلف در یک مرکز عملیات پدافند هوایی[2] انجام می شود. شبکه ای از سنسورهای مختلف و مراکز سلسله مراتبی عملیات منطقه ای و عملیات پدافند هوایی که کل فضای کشور را پوشش داده و به فرماندهان در زمینه تصمیم گیری کمک می کنند، شبکه فرماندهی و کنترل گفته می شود (Weber, 2017). هدف اصلی در شبکه فرماندهی و کنترل جمع آوری اطلاعات پروازی دریافتی از سنسورهای راداری نصب شده در مناطق مختلف و تجزیه و تحلیل این داده ها، شناسایی تهدیدها، اتخاذ تصمیم مناسب برای مقابله با این تهدید و ارسال این تصمیم به مرکز متناسب در شبکه برای اجرا می باشد. حجم اصلی از منابع شبکه ای، پهنای باند و منابع پردازشی نیز بایستی به این مسائل اختصاص یابد (عبدی، ۱۳۹۰). در کنار این مساله اطمینان از صحت عملکرد سنسورهای راداری و سایر سنسورهای شبکه نیز اهمیت خاصی دارد. غیر عملیاتی بودن یک سنسور منجر به عدم پوشش قسمتی از فضای کشور شده و تهدیدی برای امنیت آن منطقه محسوب می شود. اپراتوهای محلی قابلیت کنترل و مانیتورینگ سنسورها و رفع ایرادات آنها را به صورت محلی دارند ولی اطلاع فرماندهان سطح (رده) بالاتر شبکه های فرماندهی و کنترل نیز جذابیتها و مزایای زیادی دارد. از جمله این مزایا حذف اپراتورهای محلی و کاهش هزینه ها، استفاده از توان تخصصی کارشناسان به صورت راه دور و بدون مراجعه حضوری در مواقع بروز خطا در سیستم ها برای رفع عیب سیستم، اطمینان فرماندهان رده های بالاتر از وضعیت سنسورها، تجمیع داده های وضعیتی سیستم ها و گزارش گیری و تحلیل خرابی ها و بازخورد تحلیل ها به سازندگان سنسورها برای اصلاحات طراحی و ساخت است (کشتکار، ۱۳۹۶).

چالش اصلی در این میان پهنای باند کم بین سنسورها و مراکز فرماندهی و کنترل است که اولویت، انتقال داده های اهداف کشف شده توسط سنسورها می باشد. انتقال داده های کنترل و عیب یابی نیازمند پهنای باند بالایی است که زیرساخت انتقال داده را با مشکل مواجه می کند. از طرفی دیگر منابع پردازشی نیز بایستی برای تحلیل اهداف دریافتی از سطوح پایین تر فرماندهی و کنترل و اتخاذ تصمیم استفاده شوند و تحلیل خرابی سیستم ها بار پردازشی زیادی را بر منابع محاسباتی لایه های بالاتر فرماندهی و کنترل اعمال می کند (Jain, 2017). حلقه خودمختار MAPE که یک چارچوب چهار فازی ترکیبی است و برای مدیریت خودمختار سیستم‌های توزیع شده به دلیل جدایی مفهوم انتزاعی هر فاز از دیگر بسیار مناسب می‌باشد. از جمله ویژگی‌های مهم چرخه ی مورد نظر، سادگی مفهوم و قابلیت استفاده از سیستم‌های مختلف با استفاده از راهکارهای مدیریتی متفاوت برای هر فاز می‌باشد. این مدل بیشتر برای برقراری ارتباط بین جنبه های معماری سیستم های خود مختار استفاده می‌شود. تکنیک حلقه MAPE به منظور بهبود مدیریت خودمختار طراحی گردیده و قادر به انتخاب، تخصیص یا رهاسازی اجزای مختلف مدیریت شده در زمان تشخیص تغییرات در حجم کاری، وضعیت سیستم و قیود محدودیتی فضای مورد مدیریت می باشد (Iglesia, 2015). به دلیل آنچه بیان شد، در این پژوهش برای مقابله با چالشهای مطرح شده، یک سیستم مدیریتی توزیع شده مبتنی بر چرخه MAPE ارائه شده است. در این سیستم در سطوح مختلف شبکه فرماندهی و کنترل، بصورت سلسله مراتبی داده های دریافتی از سطوح پایین تر را دریافت کرده و پس از تحلیل آنها نتایج تحلیل را برای لایه بالاتر ارسال می کند. این روش باعث توزیع شدن پردازش در لایه های مختلف شده و سربار کمی را برای منابع پردازشی در یک

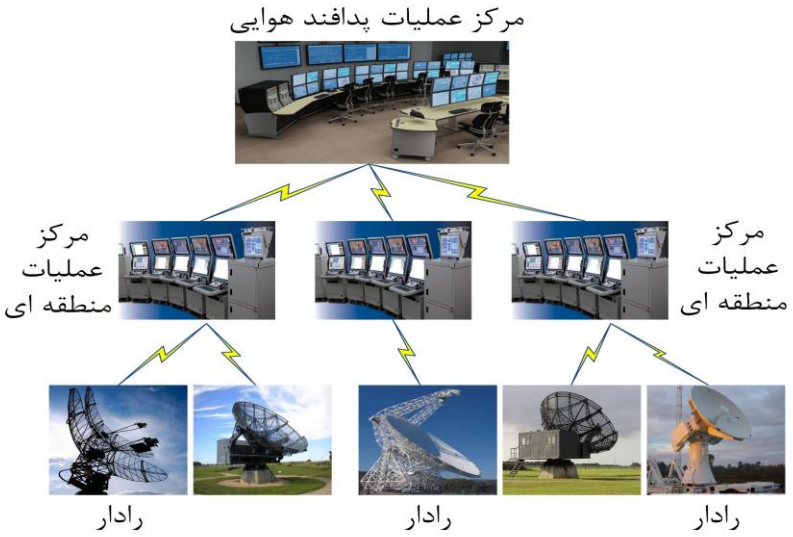
1 Sector Operating Center (SOC)

2 Air Defence Operating Center (ADOC)

مرکز ایجاد می کند و از طرفی با ارسال نتایج تحلیل (نه کل داده های عیب یابی) به لایه های بالاتر، سربار کمی را نیز به شبکه انتقال داده اعمال می کند. ولی در مواقع خرابی سیستمها، رده های بالاتر فرماندهی نیز به اطلاعات کامل سیستم معیوب (به دلیل حضور کارشناسان خبره نگهداری در رده های بالاتر) برای رفع عیب از راه دور و تحلیل خرابی نیازمندند که برای این حالت این امکان فراهم شده است که با درخواست لایه های بالاتر اطلاعات جزئی سیستم معیوب نیز ارسال شود.

۲. مدل سیستم شبکه فرماندهی و کنترل

هر کشور و منطقه جغرافیایی بسته به موقعیت، سیاست و اهداف می‌تواند دارای یک شبکه یکپارچه فرماندهی و کنترل پدافند هوایی باشد. شبکه فرماندهی و کنترل پدافند هوایی یک سامانه‌ای جامع به منظور مراقبت از فضای یک کشور و یا ناحیه جغرافیایی که با نظارت و کنترل ترددهای هوایی و مقابله با تهدیدات احتمالی فراهم می‌آید. در این بخش، جزئیات و اجزای سیستم مدل یک شبکه فراندهی کنترل ارائه شده است. به منظور فراهم سازی یک سیستم فرامندهی و کنترل در یک منطقه بزرگ جغرافیایی از یک شبکه سلسله مراتبی تشکیل شده است که شامل مراکز فرماندهی و کنترل منطقه ای، مراکز کنترل و فرماندهی محلی، پایگاه های هوایی و سامانه های راداری می‌باشد. بخش‌های مختلف سامانه مفروض بر اساس زیرساخت شبکه به یکدیگر و به صورت سلسله مراتبی متصل شده‌اند. اجزای کلی یک سیستم فرماندهی و کنترل که به صورت سلسله مراتبی در یک ناحیه جغرافیایی راه اندازی شده در شکل ۱ آمده است (پارسائی و همکاران، ۱۳۹۷).

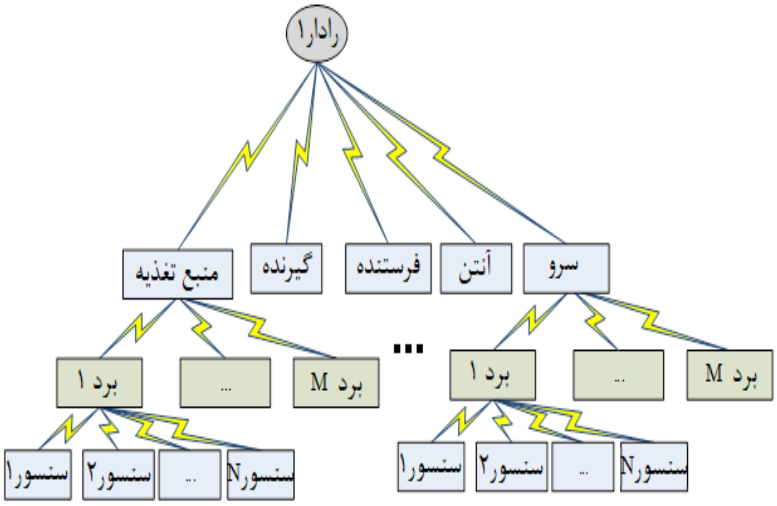


شکل ۱. مدل سیستم سلسله مراتبی سامانه فرماندهی و کنترل

بر اساس آنچه در شکل ۱ آمده است، در راس مدل سیستم ارائه شده یک مرکز عملیات پدافند هوایی در نظر گرفته شده است که در واقع به عنوان سیستم فرماندهی و کنترل یکپارچه کل کشور (یا منطقه جغرافیایی تحت پوشش) شناخته می‌شود. در واقع این مرکز مدیریت فضای کل کشور از نظر نمایش یکپارچه اطلاعات دریافتی از کلیه مراکز عملیات منطقه ای را به عهده دارد. مرکز فرماندهی و کنترل یکپارچه خود با یک خط ارتباطی شبکه‌ای به چندین مرکز عملیات منطقه‌ای متصل شده است. هر مرکز عملیات منطقه‌ای مسئولیت فرماندهی و کنترل یک منطقه را به عهده دارد. هر مرکز عملیات منطقه‌ای که خود دارای چندین رادار با نوع ها و بردهای مختلف می‌باشد، اطلاعات شناسایی از رادارهای مختلف را دریافت و اقدام به تحلیل وضعیت موجود بر اساس داده‌های دریافتی می‌کند. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل سیستم و وضعیت موجود توسط سیستمهای تصمیم یار هوشمند و فرماندهان، تهدیدها

فصلنامهٔ علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال سوم، شمارهٔ یک، بهار ۱۳۹۸

شناسایی و اولویت بندی شده و به مراکز دفاعی زمین به هوا و یا پایگاه‌های هوایی واگذار می‌شود. در شکل ۲ جزئیات و زیر سیستم‌های یک سیستم راداری آمده است (پارسائی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ۲. اجزای تشکیل دهنده یک رادار محلی

همانگونه که گفته شد، در پائین ترین سطح از سلسله مراتب سامانه، سنسورهای راداری قرار دارند که وظیفه جستجوی هشدار اولیه را دارند. این اطلاعات در مراکز فرماندهی و کنترل محلی، جمع آوری شده و از طریق شبکه به مرکز عملیات منطقه ای که سطح دوم شبکه فرماندهی و کنترل می باشد، منتقل می شوند.

همانگونه که در تصویر نشان داده شده است، هر رادار دارای زیرسیستم‌هایی مانند گیرنده، فرستنده، آنتن و سرو مکانیزم می باشد. هر کدام از این زیر سیستم‌ها اهداف و وظایف متنوعی را در اختیار دارند و در نتیجه هر یک شامل اطلاعات کنترل و مانیتورینگ مرتبط به خود را دارند. هر زیرسیستم خود از مجموعه ای از بردها تشکیل شده است که این بردها دارای مجموعه ای از سنسورها هستند که هر یک وظیفه اندازه گیری و گزارش گیری پارامترهای مختلفی هستند. علاوه بر این، هر برد با توجه به وضعیتش ممکن است تعدادی سیگنال کنترلی را از سطوح بالاتر دریافت کند.

بر این اساس، هر زیرسیستم منفرد اطلاعات کنترل و مانیتورینگ بخش خود را از طریق شبکه به واحد کنترل و مانیتورینگ محلی رادار منتقل کرده و تنظیمات مورد نیاز را از آن دریافت کرده و به بردهای زیرمجموعه خود اعمال می کنند. ارتباط بین بردها و واحد کنترل دیجیتال زیرسیستم ها از طریق مختلف مانند سریال، CAN می‌تواند انجام شود. زیرسیستمها با مرکز کنترل و مانیتورینگ رادار از طریق شبکه و با پروتکل UDP و یا TCP/IP در ارتباط هستند.

۳. پیشینه پژوهش

بیادی و همکاران، برای تحمل پذیری خطا و عملکرد بدون نقص شبکه فرماندهی و کنترل در لحظات حساس عملیات، طرحی را ارائه کرده اند. در این طرح علاوه بر ارتباطات معمولی بین نودها، یک لینک رادیوئی برای پشتیبانی از ارتباطات بین هر دو نود، برقرار می‌شود. در طرح پیشنهادی آنها، هر نود به تمامی نودهای لایه بالاتر، پائین‌تر و همرده متصل می‌شود. با استفاده از نظریه گراف با قطع یک لینک ارتباطی، لینک دیگر جایگزین شده و کارایی شبکه حفظ می‌گردد (بیادی و آذربر، ۱۳۸۸).

کاشفی و همکاران با توجه به اهمیت قابلیت بقا پذیری، مداومت کاری و عملکرد بدون نقص در شرایط

حساس عملیاتی برای شبکه‌های فرماندهی و کنترل، طرحی را ارائه کردند که گره‌های شبکه از وضعیت دیگر گره‌ها مطلع شده و در هنگام خرابی گره‌ها، به صورت خودکار ارتباط دیگری جایگزین می‌شود و باعث تحمل پذیری بالاتر شبکه در برابر خطا می‌شود. در این طرح تعداد اجزاء آتشبار، فاصله مجاز آنها از یکدیگر در ساختار شبکه و نحوه چیدمان آن در حالت عادی و بحرانی با توجه به معیارهای حداکثر کارایی، عدم ایجاد شکاف عملیاتی و از لحاظ هزینه‌های ساخت اجزاء مشخص می‌گردد (کاشفی و آذربر، ۱۳۹۳).

زارعیان یک سکو[1] به نام K-FEED برای مدیریت هزینه و آنالیز کارایی برنامه های کاربردی در محاسبات ابری بر مبنای MAPE ارائه دادند. این سکو در فاز مانیتورینگ، امکان مانیتورینگ برنامه های کاربردی با ذخیره سازی متریک های مانیتور شده را فراهم می کند. پارامترهای در سطح ماشین مجازی مانند میزان مورد استفاده قرار گرفتن پردازنده، حافظه و سطح برنامه کاربردی مانند تعداد درخواستهای دریافت شده توسط یک برنامه کاربردی و زمان پاسخ به درخواستها توسط برنامه کاربردی مانیتور می شوند. در این فاز از شبکه عصبی برای پیش بینی میزان مورد استفاده قرار گرفتن پردازنده و حافظه استفاده شده است. در فاز آنالیز، الگوریتم های آنالیز برای تحلیل اینکه برنامه کاربردی در شرایط کارکرد نرمال قرار دارد یا خیر، استفاده می شوند. در صورتی که برنامه در شرایط نرمال نباشد، این الگوریتمها در فاز برنامه ریزی برای پیشنهاد مجموعه ای از تصمیمات توسط سیستم برای رساندن برنامه کاربردی به شرایط نرمال استفاده می شوند و در فاز اجرا، اجرای دستورات هوشمندانه برای جلوگیری از افت کارایی و همچنین افزایش جریمه ناشی از ارائه دیرهنگام سرویس ها جلوگیری می کند. این سکو برای فرآیندهای تعریف شده توسط کاربران، امکان دسترسی به این اطلاعات را به منظور انجام آنالیز فراهم می کرد (Zareian, 2015).

مدلهای مدیریت خودکار مبتنی بر MAPE_K برای اطمینان از دستیابی به توافق نامه های سطح سرویس یا SLA[2] با توجه به تغییر محیطی که برنامه کاربردی در حال اجرا است، نیز استفاده شده است. در این مدلها در فاز مانیتورینگ، شرایط پس زمینه محیط اجرای برنامه مانیتور می شوند. در فاز تحلیل، شرایط مانیتور شده با SLA مقایسه می شوند. در فاز برنامه ریزی بر اساس نتایج تحلیل تصمیمات مناسب اتخاذ می شود و در فاز اجرا، رفتار برنامه کابردی را به منظور اجرای تصمیمات اتخاذ شد در فاز برنامه ریزی تغییر می دهد. اطلاعات فازهای مختلف از طریق مدیر دانش بین تمامی فازها به اشتراک گذاشته می شود. بر اساس مدل کلی مطرح شده، پاز و همکاران یک مدل برای فاز برنامه ریزی مدل MAPE_K به منظور دستیابی به محدودیت های توافق شده در برنامه کاربردی در حال اجرا ارائه دادند. برنامه ریزی سازگارشونده پویا برای برنامه های کاربردی خودسازگارشونده[3] از اهداف ارائه این مدل است. ارتباط توافق نامه های کیفیت با معماری نرم افزار به منظور برنامه ریزی برای سازگار کردن ساختارهای لازم برای دستیابی به نیازهای کیفی جدید است. در واقع مولفه[4] های یک نرم افزار در یک مخزن[5] ذخیره شده اند و با معماری های مختلف قابل تجمیع شدن هستند. از طرفی مجموعه ای از قید ها نیز موجود هستند. هدف از فاز تحلیل ارائه شده در این مقاله، مشخص کردن تعداد معماری های قابل انجام، تعداد مولفه های انعطاف پذیر و انعطاف ناپذیر و ارزیابی مدل می باشد (Paz, 2016).

والریو و همکاران یک مدل پشته ای ارتباطی مبتنی بر نرم افزار خود سازگار شونده ماژولار بر پایه مدل MAPE-K برای سنسورهای بی سیم زیر آب ارائه دادند. در این مدل در پشته پروتکل پیشنهادی در هر لایه چندین پروتکل وجود دارد که بر اساس تحلیل شرایط شبکه، زیرساخت و نیازهای برنامه کاربردی، یکی از این پروتکل ها در هر لایه

1 platform

2 Service Level Agreements

3 Self-adaptive enterprise application

4 Component

5 Repository

انتخاب می شود. در این مقاله یک مولفه جدید به نام policy Engine به صورت خودکار و سازگارشونده پیشنهاد شده که پروتکل هر لایه را به گونه ای انتخاب می کند که معیارهای ارزیابی مانند مصرف انرژی، تاخیر انتها به انتها و نسبت تحویل بسته[1] را بهینه کند. برای ارزیابی مدل پیشنهادی، از سه پروتکل CSMA، T-Lohi و DACAP در لایه MAC استفاده شد و کارایی پروتکل ها با شبیه سازی شرایط زیرساخت متفاوت مانند بار ترافیکی و طول بسته بررسی شد و سپس کارایی مدل پیشنهادی برای تخمین شرایط شبکه و انتخاب اتوماتیک پروتکل بدون دانش قبلی[2] اثبات شد (Valerio, 2016).

محیط اجرای برنامه های تحت شبکه (توپولوژی شبکه) دائما و به سرعت در حال تغییر است. شبکه های حسگر بی سیم به صورت غیرمتمرکز اتصالات خود با دیگران را تغییر می دهند تا به این تغییرات غالب شوند. مدلهای مختلفی برای سازگار کردن توپولوژی ارائه شده است. میکائیل و همکاران یک مدل مبتنی بر MAPE-K به نام TARL ارائه کرده اند. در فاز مانیتورینگ، سازگاری، توپولوژی شبکه و رخدادهای مرتبط و معیارهای ارزیابی، مانیتور می شوند. در فاز تحلیل، الگوریتم سازگاری نیاز به سازگارکردن توپولوژی را تشخیص می دهد و نهایتا در فاز اجرا، مدل مطرح شده مجموعه ای از اعمال را برای سازگارکردن توپولوژی اجرا می کند. تحلیل توپولوژی و اتخاذ تصمیم بر اساس مدلهای مبتنی بر گراف و به صورت توزیع شده انجام می شود. استنتاج اتوماتیک قوانین، سازگاری خبره و پیچیده ی توپولوژی، تغییر زمان اجرای منطق سازگاری، بهینه سازی و تغییر شکل توپولوژی، ارزیابی شرایط به صورت توزیع شده، سازگارکردن مانیتورینگ مورد نیاز از جمله خصوصیات بارز مدل می باشد (Michael, 2016).

در تحقیقات گذشته از مدل مدیریتی MAPE در محیط هائی مانند محاسبات ابری برای مدیریت کاربردهای مختلف استفاده شده است. در حوزه فرماندهی و کنترل در زمینه های ارتباطی و پارامترهای کیفی آن مانند بقاءپذیری، تحقیقات مختلفی انجام شده است. یکی از موضوعاتی که در زمینه فرماندهی و کنترل مغفول مانده است، عیب یابی از راه دور شبکه ها و تصمیم گیری اتوماتیک در این زمینه است. استفاده از ساختار مدیریتی MAPE برای عیب یابی سیستم ها در شبکه فرماندهی و کنترل می تواند خلاء موجود را پر کرده و سطح توانمندی و قابلیت اطمینان را در سیستم های شبکه فرماندهی و کنترل بالا ببرد. در این تحقیق ابتدا ساختار MAPE معرفی می شود و چارچوب آن برای مدیریت شبکه های فرماندهی و کنترل پیشنهاد می شود. سپس بر روی فاز مانیتورینگ در چرخه مدیریتی تمرکز کرده و جمع آوری داده های عیب یابی سیستم ها در یک ساختار مبتنی بر MAPE بررسی شده و کارائی آن اثبات می شود.

٤. معماری روش پیشنهادی

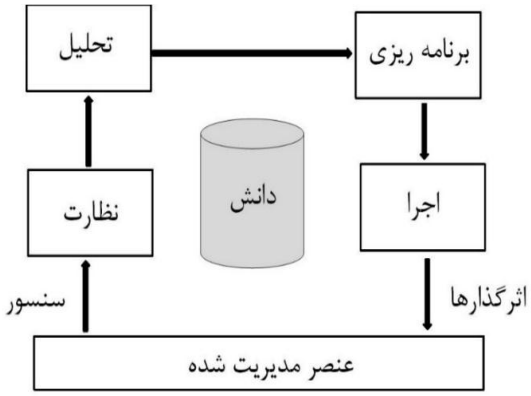
در این بخش اقدام به ارائه راهکاری به منظور مانیتورینگ و کنترل شبکه فرماندهی و کنترل بر اساس سیستم مدل MAPE-K پرداخته شده است. در ادامه ابتدا این مدل با جزئیات کامل تشریح شده است و سپس به چارچوب ارائه شده به منظور مدیریت خودمختار شبکه فرماندهی و کنترل پرداخته می شود.

٤-١. چرخه خود مختار MAPE-K

در این مقاله به منظور ارائه راهکاری استاندارد که قابلیت رسیدن به هدف مدیریت خود مختاری را دارا باشد، از مدل MAPE-K استفاده شده است. این مدل توسط IBM در سال ۲۰۰۵ ارائه شده است (IBM Corporation, 2005). همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، این مدل بیشتر برای برقراری ارتباط بین جنبه‌های معماری سیستم‌های خود مختار استفاده می‌شود. به همین ترتیب مدل مورد نظر راهی روشن برای شناسایی و طبقه بندی بسیاری از کارهایی است که دراین زمینه در حال انجام است.

1 Packet Delivery Ratio

2 Prior knowledge



شکل۳. متدولوژی حلقه MAPE-K

در چرخه‌ی MAPE-K یک عامل هوشمند، محیط خود را از طریق سنسورها درک نموده و از این ادراک برای تعیین اقدامات به منظور اجرا بر روی محیط استفاده می‌کند. در چرخه MAPE-K مؤلفه‌ی خود مختار که بلوک سازنده‌ی یک سیستم خود مختار است از مدیریت خود مختاری و مؤلفه‌ی مدیریت شده، تشکیل شده است. عنصر مدیریت شده نشان دهنده ی هر منبع نرم افزاری یا سخت افزاری است که رفتار خود مختاری را از طریق قرار گرفتن در کنار مدیریت خود مختاری ارائه می‌دهد. بنابراین، عنصر مدیریت شده می‌تواند برای مثال یک وب سرور، پایگاه داده، یک سیستم اطفاء حریق و یا یک رادار باشد. مدیر خود مختاری نیز مؤلفه نرم افزاری است که توسط مدیران و با استفاده از اهداف سطح بالا پیکر بندی شده است. رایانش خود مختار شامل چهار فاز اصلی مشاهده، تحلیل، برنامه ریزی و اجراست که در ادامه با جزئیات بیشتری آمده است.

٤-١-١. مشاهده

اولین گام در رایانش خودمختار، فاز مشاهده است که شامل اتخاذ خواص محیط (فیزیکی یا مجازی) است که برای چهار خواص سیستم ذکر شده دارای اهمیت هستند. مؤلفه نرم‌افزاری و یا سخت افزاری مورد استفاده برای انجام مانیتورینگ، سنسور نام دارند. به عنوان مثال زمان تأخیر شبکه، پهنای باند آن و همچنین وضعیت فضای مورد ارزیابی رادارها را اندازه‌گیری می‌کند. در حالی که مشاهده ی این وضعیتها ممکن است منجر به اتخاذ تصمیم و اقدام خاصی از جمله اعلان هشدار به یک وسیله در محدوده غیر مجاز شود که می‌توان آن‌ها را تحت نظارت قرار داد. مدیر خود مختار برای تشخیص خرابی یا عملکرد بهینه ی عنصر خود مختار، به اطلاعات مشاهده شده ی مناسب و تغییرات مناسب تأثیرگذار، نیاز دارد.

٤-١-٢. تحلیل

فاز تحلیل با پردازش معیارهای جمع آوری شده از سیستم مشاهده، سر و کار دارد و با پردازش این معیارها، داده هایی در مورد وضعیت بهره‌وری فعلی سیستم و پیش بینی‌هایی از نیازهای آتی بدست می‌آورد تا در صورت نیاز به تطبیق، پاسخ مناسبی به تحریکات داده شود. بعضی از سیستمهای رایانش خود مختار هیچ نوع پیش بینی انجام نمی‌دهند و فقط به وضعیت جاری سیستم پاسخ می‌دهند که به آنها واکنشی می‌گوییم. در مقابل، تحلیل در سیستمهای خودمختار پیش کنشی از تکنیک‌های محاسباتی پیچیده‌ای به منظور پیش بینی تقاضاها و یا وضعیت‌های آتی سیستم به منظور کنترل خودکار استفاده می‌شود.

٤-١-٣. برنامه ریزی

این فاز هسته‌ی اصلی رایانش خود مختار است که در وسیع‌ترین مفهوم، شامل اتخاذ داده‌های فاز مشاهده از سنسورها برای تولید یک سری از تغییرات برای تاثیر بر عنصر مدیریت شده می‌باشد تا در جهت بهبود عملیات ارائه شده تغییراتی اعمال شود. اعمال این روش به شیوه‌ی بدون

حالت (که در آن مدیر خود مختار هیچ اطلاعاتی در مورد حالت عنصر مدیریت شده را نگه نمی‌دارد و برای تصمیم‌گیری مبنی براینکه آیا بر یک طرح تطبیقی اثر گذارند یا خیر صرفاً متکی بر اطلاعات سنسور جریان می‌باشد) بسیار محدود است. در واقع برای مدیر خود مختار به مراتب بهتر است که اطلاعات را بر روی حالت عنصر مدیریت شده که می‌تواند به تدریج از طریق داده‌های حسگر به روز شود، نگه دارد تا با توجه به وضعیت سیستم و سایر اطلاعات موجود تصمیم بگیرد چه استراتژی بایستی اتخاذ شود.

مدل معماری، نشان دهنده رفتار سیستم مدیریت شده، الزامات آن و احتمالاً هدف آن می‌باشد. مدل همچنین ممکن است نشان دهنده برخی از جنبه‌های محیط عملیاتی باشد که در آن عناصر مدیریت شده قرار دارند و در آن محیط عملیاتی می‌توانند به عنوان هر خاصیت قابل مشاهده (توسط سنسورها) درک شود. به عنوان مثال می‌تواند اجرا، ورودی کاربر نهایی، دستگاه‌های سخت افزاری و خصوصیات اتصال به شبکه را تحت تاثیر قرار دهد. مدل از طریق داده‌های حسگر به روز شده و به همین دلیل در سیستم مدیریت شده برای برنامه ریزی سازگاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مزیت بزرگ رویکرد مبتنی بر مدل معماری برای برنامه ریزی این است که با این فرض که مدل به درستی منعکس کننده سیستم مدیریت شده باشد، مدل معماری را می‌توان برای تأیید این که یکپارچگی سیستم هنگام اعمال یک سازگاری حفظ می‌شود، استفاده نمود. به این معنا که می‌توانیم تضمین کنیم که پس از آن‌که سازگاری برنامه ریزی شده اجرا شود، سیستم به درستی به کار خود ادامه خواهد داد. این بخاطر این است که تغییرات برنامه ریزی شده اول به مدل اعمال می‌شود، که حالت سیستم ناشی از سازگاری (از جمله هر گونه نقض محدودیت و یا الزامات سیستم ارائه شده در مدل) را نشان خواهد داد. اگر حالت جدید سیستم قابل قبول باشد، این طرح پس از آن می‌تواند بر روی سیستم مدیریت شده واقعی تاثیر گذارد، بنابراین اطمینان می‌دهد که مدل و پیاده سازی نسبت به یکدیگر سازگار هستند. هنگامی که یک تغییر در سیستم مدیریت شده رخ می‌دهد و این تغییر به مدل اعمال می‌شود، همیشه یک تاخیر بین زمان این دو کار وجود دارد. در واقع در صورتی که تاخیر به اندازه کافی بالا بوده و سیستم نیز مکرر تغییر نماید ممکن است یک طرح سازگاری ایجاد شده و برای اجرا ارسال گردد.

٤-١-٤. اجرا

این فرایند مسئول اجرای تصمیمات اتخاذ شده توسط فاز برنامه ریزی است. به عبارتی دیگر این فاز در واقع پیچیدگی‌های ذاتی و واقعی را از دید مرکز کنترل مخفی نگاه می‌دارد.

٤-٢. روش پیشنهادی

مانیتورینگ شبکه ی رادارها و حفظ کارایی همه سنسورها از اهمیت اساسی برخوردار است. به عنوان مثال از آنجایی که سیستم رادار دارای یک ساختار پیچیده (متشکل از زیرسیستمهایی مانند آنتن، فرستنده، گیرنده، پردازشگر، سیستم کنترل و مانیتورینگ) است، بررسی عملکرد صحیح و کنترل بازده ی عملکرد آن از اهمیت زیادی به ویژه به دلیل محدود بودن پهنای باند برخوردار است. عملکرد درست یک سیستم راداری وابسته به کارکرد درست قسمتهای مختلف سیستم رادار می باشد. قسمتهای

مختلف دارای سنسورهای جمع آوری داده بوده که وضعیت زیرسیستمها را نمایش می دهند. بر اساس اطلاعات دریافتی از زیرسیستمهای مختلف، وضعیت سیستم بررسی شده و تصمیمات مناسب برای اعمال تنظیمات مختلف به زیرسیستمها گرفته می شود.

در این پژوهش یک چارچوب مدیریتی خود مختار بر اساس حلقه کنترل MAPE-K به منظور کنترل و مانیتورینگ سنسورهای فرماندهی و کنترل بدون ایجاد سربار قابل ملاحظه برای سطوح فرماندهی و کنترل ارائه شده است. در روش پیشنهادی با هدف کاهش حجم تبال داده های تحت شبکه در میان تجهیزات شبکه فرماندهی و کنترل یک راهکار سلسله مراتبی برای فاز نظارت این چارچوب، ارائه شده است. همچنین به منظور تبادل داده های سنسورها با مراکز فرماندهی و کنترل از یک پروتکل مبتنی بر XML پیشنهادی استفاده شده است که داده های دریافتی از سنسورها با پروتکل دلخواه دریافت کرده و با تبدیل به پروتکل مبتنی بر XML برای مراکز فرماندهی و کنترل ارسال می کند و از طرفی دستورات دریافتی از مراکز فرماندهی و کنترل به فرمت XML را به فرمت مورد نیاز سنسورها تبدیل کرده و به آنها اعمال می کند. در این پژوهش به منظور ارزیابی کارایی راهکار پیشنهادی فاز مشاهده (روش پیشنهادی تحت عنوان روش سلسله مراتبی) که در بخش ۲-۲-٤ بیان شده است، اقدام به ارائه یک الگوریتم تحت عنوان راهکار متمرکز یا مرسوم[1] ارائه شده است که جزئیات روش متمرکز در بخش ۱-۲-٤ آمده است.

٤-۲-۱. روش متمرکز

الگوریتم ۱ مدل متمرکز مدیریت خودمختار شبکه فرماندهی و کنترل را بر اساس چارچوب ارائه شده حلقه MAPE-K در شکل ٤ نشان می‌دهد. در خط ۱ تعداد مناسبی رادار و مراکز عملیات منطقه ای بسته به نیاز راه اندازی شده است. در خط ۲ حقله‌ی تکراری در بازه‌های زمانی یکسان و تا زمانی که سیستم فرماندهی و کنترل در حال اجرای عملیاتی است، در حال اجرا خواهد بود. سپس بر اساس حلقه ی تکرار مذکور، وضعیت تمامی مراکز عملیات منطقه ای، رادارها، بردهای رادارها و حسگرهای بوردها مشاهده شده و به مرکز عملیات پدافند هوایی تحویل داده می‌شود (خط ٤). فاز تحلیل وضعیت جاری شبکه فرماندهی و کنترل پس از فاز مشاهده اعمال خواهد شد (خط ۵). همانگونه که در خط ۵ مشخص است، عملیات تحلیل وضعیت جاری توسط مرکز عملیات پدافند هوایی با استفاده از تحلیل تک تک مشاهدات از اجزای ریز موجود در سیستم به صورت منفرد انجام می‌شود. سپس بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل انجام شده اقدام به طرح ریزی و انتخاب عملیات مناسب می‌کند (خط ٦). در آخرین گام نیز اقدام به اجرای تک تک دستورات و اقدامهای مدیریتی اتخاذ شده پرداخته می شود (خط ۷).

1 Conventional Approach

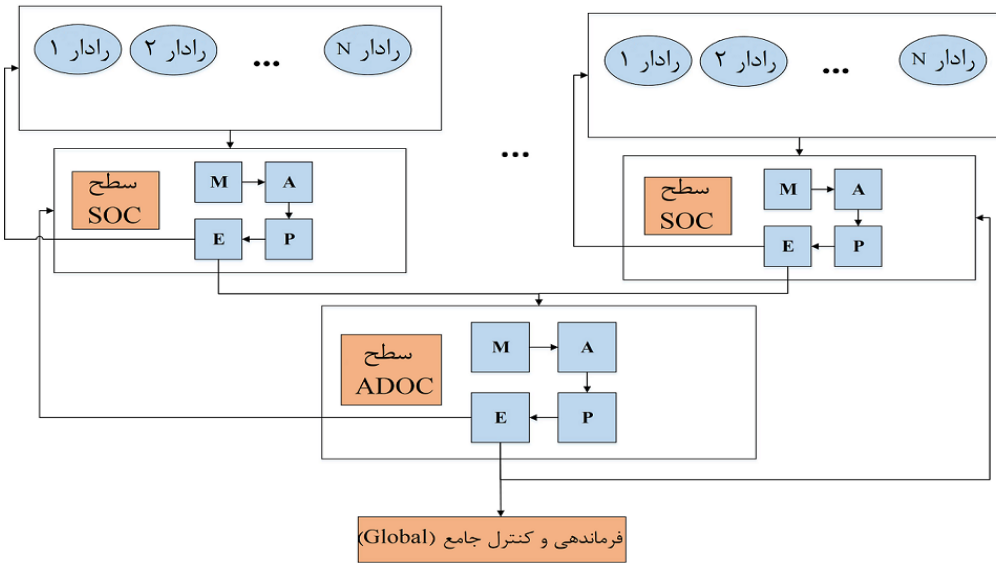
Algorithm 1: Pseudo code for Autonomic C4I Management (Conventional Approach)

1: ***Initialization:*** boots an appropriate number of Radars for C4I
2: ***while*** (the C4I system is running and in the beginning of each time slot Δt) ***do***
3: ***begin***
4: **Monitor** all elements in the C4I including SOCs, Radars, Boards of Radars, and Sensors of individual Boards
5: **Analysis** the C4I system according to the received information
6: **Plan** the measure that should be done **by** analyzing all the detailed status **in** the ADOC
7: **Execute** the taken actions in different levels such as SOCs, regions , etc.
8: ***end while***

شکل ٤. مدل متمرکز مدیریت خودمختار

٤-٢-٢. روش سلسله مراتبی

در ادامه بر اساس چارچوب بیان شده MAPE-K و سیستم مدل شبکه فرماندهی و کنترل پدافند هوایی بیان شده یک چارچوب مدیریتی سلسله مراتبی ارائه شده است. شکل ۵ چارچوب سیستم پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۵. چارچوب مدیریتی سلسله مراتبی ارائه شده بر اساس چرخه MAPE-K

همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است هر رادار یک چرخه مدیریتی خودمختار به منظور مانیتورینگ و مدیریت زیر سیستم‌ها، بوردها و سنسورهای خود است. در واقع چرخه سطوح توالی سطح رادار، داده‌های وضعیت اجزای بیان شده را در فواصل زمانی مشخص در فاز مشاهده دریافت و سپس اقدام به تحلیل آن (در صورت لزوم) می‌کند. پس از این مرحله، اقدام به طرح ریزی به منظور مدیریت و کنترل وضعیت اجزای مشاهده و ارزیابی شده می‌کند. در انتها فاز اجرای آن می‌تواند منجر به ارسال دستورات کنترلی به اجزا و اثرگذارهای دستگاهها و تجهیزات بیان شده و یا ارسال نتایج حاصل از ارزیابی به مرکز عملیات منطقه ای شود.

در سطح مرکز عملیات منطقه ای هر گروه از رادارهای یک ناحیه به صورت دسته جمعی نیز مدیریت و کنترل می‌شوند. این عمل با هدف کنترل، مانیتورینگ و خطایابی یکپارچه شبکه فرماندهی و کنترل انجام می‌گردد. بدین منظور، داده‌های حاصل توالی مدل MAPE-K رادارهای متصل به مرکز عملیات منطقه ای مورد نظر ارسال می شوند و وارد فاز مشاهده ی MAPE سطح مرکز عملیات منطقه ای می‌شوند. پس از آن در فاز تحلیل اقدام به تحلیل وضعیت تک تک رادارها و زیر سیستم‌های آنها کرده و در نتیجه می‌توان به طور کلی وضعیت مرکز عملیات منطقه ای را مورد ارزیابی قرار داد. در ادامه ی تحلیل انجام شده، فاز طرح ریزی می‌تواند دستورات کنترلی مناسبی را به منظور ارزیابی و مشاهده دقیقتر وضعیت زیر سیستم‌های مرکز عملیات منطقه ای را درخواست کند. به عنوان مثال با مشاهده و یا تردید در عملکرد یک بورد خاص می‌تواند دستور به مشاهده وضعیت تمامی حسگرهای یک بورد خاص را بدهد. بنابراین در فاز اجرا، دستور مدیریتی اتخاذ شده می‌تواند به منظور اعمال/اجرا به سطوح زیرین (رادار، زیرسیستمها، بورد، حسگر) ارسال گردد. علاوه بر آن در فاز اجرا نتایج حاصل از اجرای توالی MAPE-K سطح مرکز عملیات منطقه ای در هر بازه زمانی مشخص به بالاترین سطح نیز ارسال می‌شود.

در بالاترین سطح این مدل یعنی مرکز عملیات پدافند هوایی، نیز همانند آنچه در سطوح پایین تر اتفاق افتاد می-بایست از حلقه خودمختار MAPE-K با هدف فراهم سازی یک سیستم مدیریتی و خطایابی یکپارچه استفاده نمود. حلقه MAPE-K سطح مرکز عملیات پدافند هوایی، اطلاعات وضعیت مراکز عملیات منطقه ای و رادارهای مختلف را که فاز اجرای حلقه‌های مراکز عملیات منطقه ای منفرد را در فاز مشاهده ی خود دریافت می‌کند. سپس با در اختیار داشتن وضعیت هر مرکز عملیات منطقه ای اقدام به تحلیل وضعیت کلی منطقه تحت پوشش پدافند هوایی (که می‌تواند یک کشور باشد) می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل ممکن است نیاز به انجام یک دستورالعمل خاص باشد و یا منجر به این شود که جزییات داده‌ها و وضعیت زیر سیستم های یک رادار خاص درخواست شود که در فاز برنامه ریزی اتفاق می‌افتد. در نتیجه، دستور العملهای مدیریتی بیان شده به سطوح پایینی اعمال خواهد شد. به علاوه در انتها چارچوب بیان شده یک سیستم جامع مدیریتی، مانیتورینگ و خطایابی یکپارچه را برای یک شبکه بسیار بزرگ پدافند هوایی به ارمغان می‌آورد.

الگوریتم ۲ و ۳ که در شکل های ٦ و ۷ آمده است، راهکار پیشنهادی به منظور مدیریت سلسله مراتبی سیستم فرماندهی و کنترل را با جزئیات نشان می‌دهد.

Algorithm 2: Pseudo code for Autonomic C4I Management (Proposed Approach)

```
1:  Initialization: boots an appropriate number of Radars for C4I
2:  while (the C4I system is running and in the beginning of each time slot Δt) do
3:  begin
4:      for (every SOC Si at the time slot Δt ) do
5:      begin
6:          for (every Radar Rj at the time slot Δt ) do
7:          begin
8:              Monitoring (Rj)
9:              Analysis (Rj)
10:             Plan(Rj) according to Algorithm 3-A
11:             Execute(Rj)
12:         end for
13:         Monitor(Si)
14:         Analysis(Si)
15:         Plan(Si) ) according to Algorithm 3-B
16:         Execute(Si)
17:     end for
18:     Monitor(ADOC)
19:     Analysis(ADOC)
20:     Plan(ADOC) ) according to Algorithm 3-C
21:     Execute(ADOC)
22: end while
```

شکل ٦. راهکار کلی سیستم پیشنهادی

همانند الگوریتم پیشین این الگوریتم نیز در اولین گام بسته به نیاز اقدام به راه اندازی تعداد مناسبی رادار و مراکز عملیات منطقه ای می‌کند (خط ١). در خط ٢ حلقه‌ی تکراری در بازه‌های زمانی یکسان و تا زمانی که سیستم فرماندهی و کنترل در حال اجرای عملیاتی است، در حال اجرا خواهد بود. سپس بر اساس حلقه تکرار مذکور، حلقه تکرار دیگری تعریف شده است که به دستورات درون آن به ازای هر مرکز عملیات منطقه ای در بازه زمانی خاصی را به اجرا در می‌آورد (خط ٤). در واقع در این الگوریتم برعکس راهکار متمرکز (الگوریتم ١) اقدام به اجرای حلقه MAPE-K به ازای تک تک مراکز عملیات منطقه ای به صورت توزیع شده می‌کند. بدین شکل که ابتدا اقدام به مشاهده ی وضعیت تک تک بوردها و حسگرهای همه ی رادارهای موجود در یک مرکز عملیات منطقه ای کرده و پس از آن اقدام به تحلیل وضعیت آنها پرداخته می شود (خط ٦ و ٧). پس از مشخص شدن وضعیت مراکز عملیات منطقه ای، اقدام به ارسال وضعیت مشخص شده بدون هیچ اطلاعات اضافی (جزئیاتی) برای مر اکز عملیات پدافند هوایی خواهد کرد (خط ٨). پس از دریافت وضعیت کلی همه ی مراکز عملیات منطقه ای، مرکز عملیات پدافند هوایی اقدام به دریافت اطلاعات همه ی رادارها، بوردها و حسگرهای مراکز عملیات منطقه ای می‌کند که وضعیت آنها در واقع یک پیغام هشدار (که نشان گر یک مشکل احتمالی است) بوده است (خطوط ١٠ تا ١٥). مرکز عملیات پدافند هوایی پس از دریافت اطلاعات همه‌ی مراکز عملیات منطقه ای اقدام به یک تصمیم گیری کلان از وضعیت جاری کلی منطقه تحت حفاظتش می‌کند (خط ١٦). پس از تصمیم گیری کلان انجام شده توسط مرکز عملیات پدافند هوایی که ممکن است منجر به اعمال یکسری تغیرات در مراکز عملیات منطقه ای و بالطبع آن رادارهای آنها شود. بر این اساس اطلاعات اقدامات حاصل از طرح ریزی توسط مرکز عملیات پدافند هوایی به تک تک مراکز عملیات منطقه ای تحت تاثیرش ارسال می‌گردد(خط ١٨). در انتها، هر مرکز عملیات منطقه ای اگر دستوری اجرایی را دریافت کند بر اساس آن اقدام کرده و فاز اجرای دستور را عملیاتی می‌کند(خط ١٩).

Algorithm 3: Pseudo code for Plan phase

Initialization: Recieved information from **Analysis** phase
A: Plan phase for Radar level:
action←Planning according to the received information of all subsystems
switch action
    case 1: **Receive** detailed information of $subsystem_u$ $0 \le u \le Num\_of\_Subsystems(Radar_i)$
    case 2: **Receive** detailed information $board_w$ $0 \le w \le Num\_of\_Boards(Radar_i, Subsystem_u)$
    case 2: **Do not receive** any detailed information
end switch

B: Plan phase for SOC level:
action←Planning according to the received information of all Radars of the *i-th* SOC
switch action
    case 1: **Receive** detailed information of $Radar_j$ $0 \le j \le Num\_of\_Radars(SOC_i)$
    case 2: **Receive** detailed information of $subsystem_k$ $0 \le k \le Num\_of\_Subsystems(Radar_j)$
    case 3: **Receive** detailed information $board_w$ $0 \le w \le Num\_of\_Boards(Radar_j, Subsystem_k)$
    case 4: **Do not receive** any detailed information
end switch

C: Plan phase for ADOC level:
action←Planning according to the received information of all SOCs
switch action
    case 1: **Receive** detailed information of SOC_i $0 \le i \le Num\_of\_SOCs$
    case 2: **Receive** detailed information of $Radar_j$ $0 \le j \le Num\_of\_Radars(SOC_i)$
    case 3: **Receive** detailed information of $subsystem_k$ $0 \le k \le Num\_of\_Subsystems(Radar_j)$
    case 4: **Receive** detailed information $board_w$ $0 \le w \le Num\_of\_Boards(Radar_j, Subsystem_k)$
    case 5: **Do not receive** any detailed information
end switch

شکل ۷. شبه کد سیستم پیشنهادی

٤-٣. چارچوب ارائه شده به منظور تبادل داده

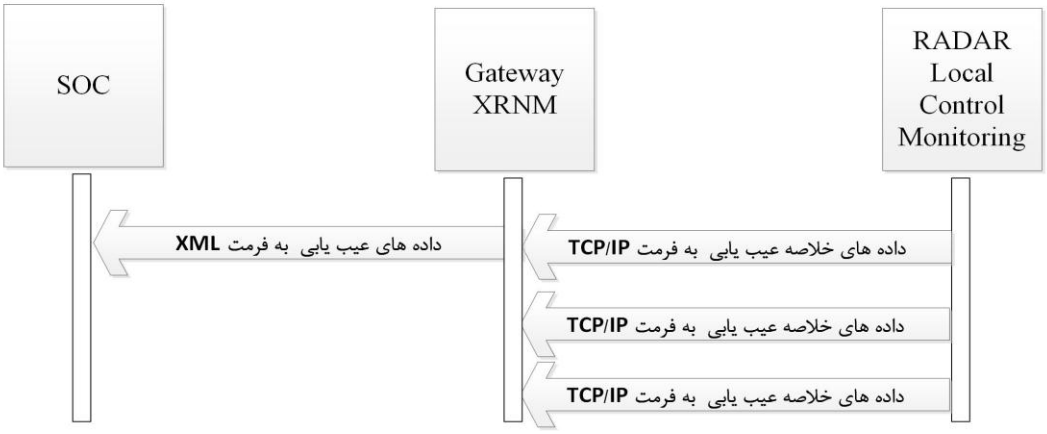
به منظور اینکه بتوان داده‌های زیر سیستمی یک مرکز عملیات منطقه ای را دریافت و یا ارسال کرد راهکار جدیدی ارائه شده است که در بخش ١-٣-٤ با جزئیات تشریح می گردد.

٤-٣-١. تبادل داده زیر سیستم‌ها در سطح یک مرکز عملیات منطقه ای

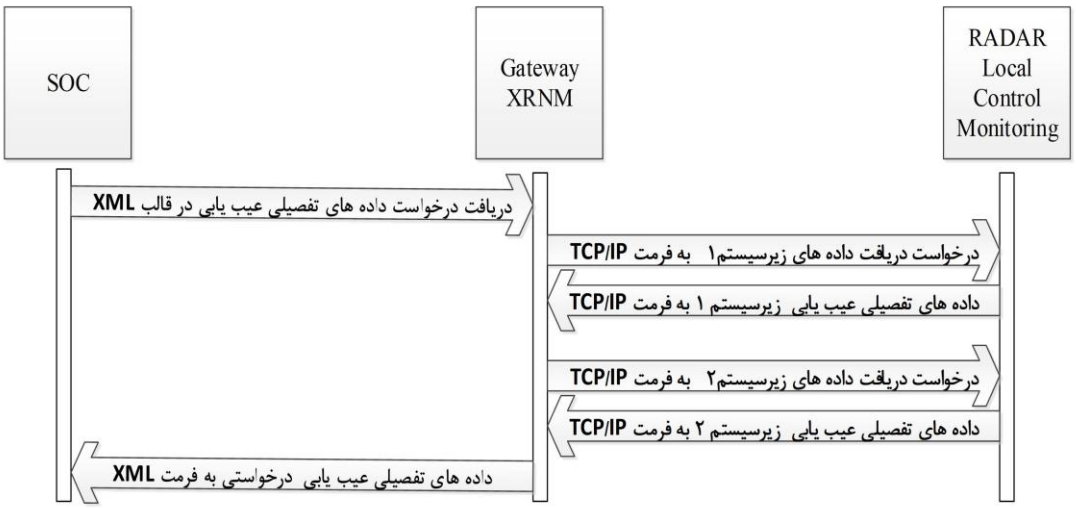
هر رادار داری یک سیستم کنترل و مانیتورینگ محلی است که با زیرسیستمهای رادار از طریق پروتکل هایی مانند Modbus TCP، TCP/IP و یا سایر پروتکل ها در ارتباط است و اطلاعات عیب یابی را دریافت و تحلیل کرده و وضعیت زیرسیستمها را معین کرده و داده های عیب یابی همه زیر سیستمها را نیز نمایش می‌دهد. در ادامه فرض بر این است که سیستم کنترل و مانیتورینگ محلی، از طریق پروتکل TCP/IP اطلاعات را روی پورت مشخصی ارسال می‌کند. در روش پیشنهادی، یک درگاه[1] روی سیستم رادار محلی نصب می‌شود که داده‌های مانیتورینگ را از نرم افزار محلی رادار، دریافت کرده و سپس این داده های دریافتی را به فرمت XML تبدیل کرده و برای سطوح بالاتر شبکه (مرکز عملیات منطقه ای) ارسال می کند. در حالت عادی اطلاعات خلاصه عیب یابی که شامل وضعیت زیر سیستمهای رادار می باشد از سیستم عیب یابی محلی رادار دریافت شده و در قالب فایل XML برای مرکز عملیات منطقه ای ارسال می شود. مرکز عملیات منطقه ای درخواست خود را برای دریافت داده های عیب یابی تفصیلی زیرسیستم ها، در قالب XML برای درگاه ارسال می‌کند و درگاه در خواست را در قالب یک یا چند پیام، برای سیستم محلی کنترل و مانیتورینگ ارسال می‌کند و جوابهای دریافتی را در قالب XML به مرکز عملیات منطقه ای ارسال می‌کند. شکل ٨ سناریو تبادل داده‌های وضعیت

1 Gateway

زیرسیستمها و شکل ۹ سناریو تبادل داده های تفصیلی عیب یابی با مرکز عملیات منطقه ای را نشان می‌دهد.



شکل ۸. تبادل داده های وضعیت زیر سیستمها با SOC



شکل ۹. سناریو تبادل داده های تفصیلی رادار با مرکز عملیات منطقه ای

۲-۳-٤- ساختار XML ارائه شده به منظور جابجایی داده‌ها

همانگونه که بیان شد، به منظور تبادل و جابجایی اطلاعات و وضعیت زیرسیستم‌ها و اجزای شبکه فرماندهی و کنترل در چارچوب ارائه شده از XML استفاده خواهد شد. بنابراین در ادامه اقدام به ارائه و تعریف ساختاری بر اساس قالب ساختار XML به منظور انتقال، مانیتورینگ و کنترل سلسله مراتبی فرماندهی کنترل پرداخته می شود.

```
<xml>
    <SOC ID=?>
        <RADAR ID=? OperatorID=?>
            <SUBSYSTEM NAME = "RECEIVER">
                <BOARD1>
                    <SENSOR1>12</SONSOR1>
                    <SENSOR2>13</SONSOR2>
                </BOARD1>
                <BOARD2>
                    <SENSOR1>12</SONSOR1>
                    <SENSOR2>13</SONSOR2>
                </BOARD2>
            </SUBSYSTEM>
        </RADAR>
        <RADAR ID=? OperatorID=?>
            <SUBSYSTEM NAME = "RECEIVER">
                <BOARD1>
                    <SENSOR1>12</SONSOR1>
                    <SENSOR2>13</SONSOR2>
                </BOARD1>
                <BOARD2>
                    <SENSOR1>12</SONSOR1>
                    <SENSOR2>13</SONSOR2>
                </BOARD2>
            </SUBSYSTEM>
        </RADAR>
    </SOC>
</xml>
```

شکل ۱۰. نمونه‌ای از ساختار XML ارائه شده به منظور انتقال اطلاعات سیستم مدیریت پدافند کنترل هوایی

همان طور که در شکل ۱۰ آمده است، سیستم مدیریت شبکه پدافند که به عنوان یک سیستم سلسله مراتبی در بخش قبل فرض شده است، هر سیستم مانند یک رادار به تنهایی و مستقلا دارای یک سیستم کنترل و مانیتورینگ می‌باشد که اطلاعات دریافتی از زیرسیستمها را دریافت کرده و بر اساس اطلاعات دریافتی به طور خودکار پیغام‌های هشداری را صادر می کند و به صورت اتوماتیک و یا با کمک اپراتور تنظیماتی را به زیرسیستمها اعمال می کند. بدین منظور هر رادار گزارش تفصیلی‌ای از وضعیت زیرسیستم‌ها و اجزای خود را به مرکز کنترل و مانینورینگ به سطح بالاتر خود (سطح مرکز عملیات منطقه ای) ارائه می‌کند. به عنوان مثال می‌توان تنها با انتقال وضعیت زیرسیستم های سامانه راداری، سایر سطوح بالاتر (مانند مرکز کنترل و مانیتورینگ مرکز عملیات منطقه ای) را از وضعیت آن (وضعیتهایی همچون سالم، دارای نقص و یا غیر عملیاتی) آگاه ساخت. متعاقبا مرکز کنترل و مانیتورینگ مرکز عملیات منطقه ای در صورت نیاز می‌تواند درخواست دریافت اطلاعات تفصیلی‌تری از زیر سیستمهای رادار مذکور را به منظور تصمیم گیری دقیقتر و تجزیه و تحلیل آن درخواست کند.

در مرکز کنترل و مانیتورینگ مرکز عملیات پدافند هوایی که در بالاترین سطح کنترل و مانیتورینگ قرار دارد، وضعیت رادارها از لحاظ عملیاتی و یا غیر عملیاتی بودن و با دریافت اطلاعات رادارها از مراکز عملیات منطقه ای مختلف نمایش داده می شود. به علاوه در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر درخواست مربوطه به مرکز عملیات منطقه ای ارسال شده و اگر در مرکز عملیات منطقه ای موجود باشند، بلافاصله به مرکز عملیات پدافند هوایی ارسال می شود و در غیر این صورت مرکز عملیات منطقه ای اطلاعات را از سایتهای راداری درخواست کرده و پس از دریافت جواب از سایتها، آن را به مرکز کنترل و مانیتورینگ ارسال می کند. در این ساختار مدیریتی امکان اعمال تنظیمات به رادارهای مختلف در هر سطحی از شبکه امکان پذیر است. در بالاترین سطح یک فرمانده می تواند دستور اعمال تنظیمات را به همه ی مراکز عملیات منطقه ای ارسال کند و آنها نیز تنظیمات را به رادارها ارسال کنند. در نهایت وظیفه

اعمال تنظیمات به سیستم راداری به عهده سیستم کنترل و مانیتورینگ محلی رادار می باشد.

با توجه به آنچه بیان شد مزیت های اصلی راهکار سلسله مراتبی پیشنهادی ارائه شده (الگوریتم ۲ و ۳) نسبت به راهکار مرسوم یا متمرکز (الگوریتم ۱) به شرح زیر می باشد:

۱. راهکار جدید ارائه شده حجم محاسباتی و پردازشی مدیریت و مانیتورینگ چارچوب ارائه شده را به صورت توزیع شده اجرا می‌کند. این در حالی است که در راهکار مرسوم فرض شده تمامی محاسبات داده‌ای و پردازشی توسط بخش مرکز عملیات پدافند هوایی انجام گیرد. بنابراین، محاسبات توزیع شده از مزیت اصلی راهکار ارائه شده است و از انجایی که محاسبات توزیع شده توسط زیر بخش‌های سیستم سلسله مراتبی فرماندهی و کنترل انجام می‌گردد، تسریع انجام محاسبات مزیت دیگر این راهکار می‌باشد.

۲. محاسبات توزیع شده راهکار پیشنهادی به ارمغان آورنده‌ی قابلیت مقیاس پذیری محیط تحت پوشش، بدون نگرانی از توانایی محاسباتی مرکز عملیات پدافند هوایی به منظورکنترل سیستم با مقیاس های متفاوت است. این بدان دلیل است که اکثر محاسبات توسط زیر مجموعه‌ها (مراکز عملیات منطقه ای) و به صورت توزیع شده انجام می‌گردد.

۳. در صورت بروز خطا در سیستمی که در مناطق دوردست نصب شده است، امکان درخواست و دریافت اطلاعات جزیی سیستم ها وجود دارد تا متخصصین امر، بصورت راه دور سیستم را عیب یابی کرده و توصیه های لازم را برای رفع عیب به کاربران محلی ارسال کند.

٤. داده های عیب یابی پردازش شده و نتایج خلاصه وضعیت سیستم ها به لایه های بالاتر منتقل شده و پهنای باند کمتری از شبکه، صرف مانیتورینگ سیستم ها می شود.

۵. امکان لاگ برداری از وضعیت خلاصه سیستم ها در سطوح مختلف شبکه.

٦. امکان گزارش گیری از وضعیت سیستم ها بر اساس پارامترهای مختلفی مانند کاربر، تاریخ و رادار.

۵- ارزیابی کارایی سیستم پیشنهادی

در این بخش به منظور ارزیابی ساختار سلسله مراتبی و مدل سیستم ارائه شده اقدام به بررسی دو سناریو متفاوت شده است. همانگونه که در بخش پیشین بیان شد، مهمترین مزیت ساختار سلسله مراتبی کاهش حجم داده های انتقالی و دریافتی و درنتیجه کاهش حجم پهنای باند اشغالی بوده است. بنابراین در این بخش در اولین گام اقدام به تحلیل داده های مانیتورینگ زیر سیستم ها شده است. جمع داده دریافتی از زیر سیستم شماره k مطابق فرمول زیر است:

$$SubSystemMon_{Data_k} = \sum_{j=1}^{NumOfBoard} \sum_{i=1}^{NumOfSensor} SizeOfMD(Sensor_i) \quad (۱)$$

داده های مانیتورینگ سیستم راداری شماره r مطابق فرمول زیر محاسبه می شود:

$$RADAR\_Mon\_Data_r = \sum_{k=1}^{NumOfSubSystem} SubSystem\_Mon\_Data \quad (۲)$$

داده های دریافتی از رادارهای مختلف در مرکز عملیات منطقه ای شماره s (با فرض دریافت کل داده های عیب یابی):

$$SOC\_Mon\_Data_s = \sum_{k=1}^{NumOfRADARs} RADAR\_Mon\_Data_k \quad (۳)$$

داده های کل رادارهای متصل به مرکز عملیات پدافند هوایی (با فرض دریافت کل داده های عیب یابی):

$$ADOC\_Mon\_Data = \sum_{k=1}^{NumOfSOC} SOC\_Mon\_Data_k \quad (۴)$$

در یک سیستم سلسله مراتبی نیاز به ارسال تمامی داده های کنترل و مانیتورینگ به سطوح بالاتر نیست و می توان در حالت عادی به شکل زیر عمل نمود که رادارها داده های زیر سیستم ها را دریافت کرده و پس از تحلیل داده ها، وضعیت هر زیر سیتم خود را در قالب یک بایت برای مرکز عملیات منطقه ای ارسال نماید. در مواقع ضروری و با درخواست مرکز عملیات منطقه ای داده های کامل زیر سیستم مشخص شده از طرف مرکز عملیات منطقه ای توسط رادار به مرکز عملیات منطقه ای ارسال می شود.

مراکز عملیات منطقه ای نیز داده های زیر سیستم های رادارهای مختلف را دریافت کرده و پس از تحلیل داده ها، وضعیت هر رادار متصل به خود را در قالب یک بایت برای مرکز عملیات پدافند هوایی ارسال نماید. در مواقع ضروری و با درخواست مرکز عملیات پدافند هوایی داده های کامل(داده های وضعیت زیرسیستم های یک رادار مشخص و یا حتی داده های بردهای یک زیرسیستم مشخص) رادارهای مشخص شده از طرف مرکز عملیات پدافند هوایی توسط رادار به مرکز عملیات پدافند هوایی ارسال می شود. این روش باعث می شود که در حالتی که سیستمها عملیاتی هستند، حجم داده های مبادله شده با مراکز فرماندهی و کنترل کاهش یابد و در صورت لزوم (مثلا بروز خطا) و برای اطلاع از جزئیات بیشتر از وضعیت سیستمها مرکز سطح بالاتر درخواست ارسال داده های جزئی تر را به منظور تحلیل خطا و رفع خطا انجام می دهد. برای تحلیل مقدار داده های تبادلی در لینک های ارتباطی مختلف، مقدار پارامترهای مطرح شده در قسمت روش ارائه شده، مطابق جدول ۱ درنظر گرفته شده است:

جدول ۱. مقدار پارامترها

تعداد موجود در شبکه	نام واحد
۵	$NumOfSOC$
۷	$NumOfRADARs$
۶	$NumOfSubSystem$
۸	$NumOfBoard$
۵۰	$NumOfSensor$
۲	$Sensor\_Value\_Represent\_Bytes$

برای سادگی و بدون اینکه به کلیت موضوع لطمه بخورد، فرض می کنیم که رادارها یکسان می باشند و دارای تعداد زیرسیستمهای یکسان می باشند. زیرسیستمها نیز دارای تعداد برد یکسان بوده و کلیه بردها نیز دارای تعداد سنسور مساوی می باشند. فرض می کنیم که هر یک ثانیه یکبار داده های مانیتورینگ ارسال شوند و با فرضیات فوق و مطابق تساوی (۱)، داده های مانیتورینگی که هر زیرسیستم در یک ثانیه تولید می کند:

$$SubSystemMonData_k = 8 * 50 * 2 = 800\ Byte$$

و مطابق تساوی (۲)، داده های مانیتورینگی که هر رادار، در یک ثانیه تولید می کند:

$$RADARMonData_k = 6 * 800 = 4800\ Bytes$$

حال مطابق سناریو ۱ و با فرض ارسال کلیه داده های مانیتورینگ به لایه های بالاتر، مطابق تساوی (۳)، داده های مانیتورینگ دریافتی توسط هر مرکز عملیات منطقه ای:

$$SOCMonData_S = 7 * 4800 = 33600\ Bytes$$

مطابق تساوی (٤)، داده های مانیتورینگ دریافتی توسط مرکز عملیات پدافند هوایی:

$$ADOCMonData = 33600 * 5 = 168000\ Bytes$$

مطابق سناریوی بالا حجم بالایی از داده ارسال شده و درصد بالایی از پهنای باند را اشغال می کند. از طرف دیگر این حجم بالای داده بایستی در سلسله مراتب فرماندهی و کنترل پردازش شود که منابع پردازشی را تلف می کند. برای رفع این مشکلات مطابق سناریو ۲ فقط داده های زیر بخش ها را در حالت عادی ارسال می کنیم. با فرض ارسال وضعیت هر زیر سیستم رادار در یک بایت، داده های ارسالی از هر رادار به مرکز عملیات منطقه ای به شرح زیر محاسبه می شود:

$$SubSystemMonData_k = 1\ Byte$$

و مطابق تساوی (۲)

$$RADARMonData_k = 6 * 1 = 6\ Bytes$$

و مطابق تساوی (۳) داده های مانیتورینگ دریافتی توسط هر مرکز عملیات منطقه ای:

$$SOCMonData_S = 7 * 6 = 42\ Bytes$$

مراکز عملیات منطقه ای داده ها را تحلیل کرده و وضعیت هر رادار را در قالب یک بایت برای مرکز عملیات پدافند هوایی ارسال می کند. پس داده های ارسالی توسط هر مرکز عملیات منطقه ای برابر تعداد رادارهای متصل به آن مرکز عملیات منطقه ای بوده و در سناریو فعلی ما برابر ۷ بایت می باشد. بنابر این مطابق تساوی (٤):

$$ADOCMonData = 7\ * 5 = 35\ Bytes$$

یعنی با ۳۵ بایت داده در هر ثانیه، مرکز عملیات پدافند هوایی وضعیت همه رادارهای سراسر کشور را مانیتور می کند. در صورت نیاز به داده های تفصیلی یک زیر سیستم (مثلا در زمان تشخیص خرابی یک زیرسیستم در یک رادار مشخص) با ارسال درخواست از مراتب بالاتر فرماندهی، داده های یک زیرسیستم به مراتب بالاتر ارسال می شود که در هر ثانیه با ارسال ۸۰۰ بایت در ثانیه می توان داده های مانیتورینگ را به صورت برخط داشته و تصمیمات لازم را اتخاذ نمود. با توجه به پهنای باند حداقل برابر ۲ مگابایتی بین رادار و مرکز عملیات منطقه ای این مقدار از داده حجم کمی از پهنای باند شبکه را اشغال نموده و مشکلی برای ارسال داده های عملیاتی به سلسله مراتب بالاتر فرماندهی و کنترل به وجود نمی آورد.

۵-۱. تنظیمات شبیه سازی

برای انجام شبیه سازی، در نرم افزار متلب، شبکه فرماندهی و کنترل شبیه سازی شد. در شبیه ساز، ابتدا بایستی اطلاعات تولیدی توسط هر رادار را شبیه سازی نمود. در این شبیه ساز هر سنسور در مدت زمان ۵۰۰ میلی ثانیه یک بسته اطلاعات را روی شبکه می فرستد. با توجه به تعداد سنسور هر برد، تعداد برد هر زیر سیستم و تعداد زیرسیستم هر رادار میزان اطلاعات تولیدی توسط هر رادار محاسبه و شبیه سازی می شود. بعد از شبیه سازی یک رادار، بایستی شبکه فرماندهی و کنتل شبیه سازی گردد. شبکه به گونه ای طراحی و پیاده سازی شده است که اثر تعداد رادارها و همچنین اثر درصد نیاز به ارسال اطلاعات تفصیلی رادارها به لایه های بالاتر شبکه فرماندهی و کنترل بررسی شود. هرچه تعداد رادارها بیشتر باشد، اطلاعات تولیدی توسط آنها بیشتر بوده و در نتیجه اطلاعات مورد نیاز برای لایه های بالاتر نیز بیشتر می باشد. از طرف دیگر با افزایش درخواست نیاز به ارسال اطلاعات تفصیلی، نیز میزان ارسال اطلاعات افزایش می یابد. پس دو پارامتر اصلی بایستی در شبیه سازی بررسی شوند:

۱. تعداد رادارهای موجود در شبکه فرماندهی و کنترل
۲. درصد نیاز به ارسال اطلاعات تفصیلی به لایه های بالاتر شبکه فرماندهی و کنترل

اثر پارامتر اول در سه شبکه با اندازه مختلف و اثر پارامتر دوم در سه سناریو با ۳۰ ، ٦۰ و ۹۰ درصد نیاز به اطلاعات تفصیلی بررسی شده است. بر اساس سه سناریو مختلف و با توجه به میزان نیاز به ارسال تفصیلی در سطح برد، زیرسیستم و یا سیستم، ارسال داده در سلسله مراتب شبکه فرماندهی و کنترل در روش مرسوم (ارسال همه اطلاعات) و روش پیشنهادی (ارسال اطلاعات برحسب نیاز) شبیه سازی انجام می شود. هر سناریو با تنظیمات متناسب با سه شبکه فرماندهی و کنترل مختلف اجرا می شود. در مجموع ۹ بار شبیه ساز اجرا می شود. هر اجرا ۱ ساعت (۳٦۰۰ ثانیه) انجام شد. در ادامه به تشریح شبکه های فرماندهی و کنترل مختلف شبیه سازی شده و سناریوهای مختلف و نتایج اجرای شبیه ساز برای هر سناریو در هر شبکه می پردازیم.

تنظیم پارامترهای شبیه ساز برای سه شبکه به شرح زیر در جدول ۲ آمده است:

۱. شبکه راداری کوچک[1]
۲. شبکه راداری متوسط[2]
۳. شبکه راداری بزرگ[3]

1 Small RADAR Network
2 Medium RADAR Network
3 large RADAR Network

جدول ۲. تنظیم پارامترهای شبیه ساز

	Number of Board	Number of Sensor in each board	Number of Sub_System	Number of SOC	Number of Radar
Small RADAR Network	2	10	1	1	1
Medium RADAR Network	4	30	3	3	3
Large RADAR Network	8	50	6	5	7

برای هر شبکه فرماندهی و کنترل، سه سناریو برای میزان دریافت اطلاعات داده های تفصیلی در لایه های بالاتر شبکه فرماندهی و کنترل به شرح زیر در نظر گرفته شده است:

۱. به طور آماری بر اساس توزیع نرمال در ۳۰ درصد زمانها با انحراف معیار ۵ درصد نیاز به دریافت اطلاعات تفصیلی میباشد.

۲. سناریو دوم: به طور آماری بر اساس توزیع نرمال در ٦۰ درصد زمانها با انحراف معیار ۵ درصد نیاز به دریافت اطلاعات تفصیلی میباشد.

۳. سناریو سوم: به طور آماری بر اساس توزیع نرمال در ۹۰ درصد زمانها با انحراف معیار ۵ درصد نیاز به دریافت اطلاعات تفصیلی میباشد.

۵-۲. نتایج ارزیابی کارایی

در ادامه به تحلیل نتایج حاصل از ۹ بار اجرای شبیه ساز، ۳ سناریو و هر سناریو در ۳ مدل شبکه فرماندهی و کنترل، می پردازیم.

۵-۲-۱. نتایج شبیه سازی سناریوی اول

این سناریو ۳۰ درصد اوقات، لایه های بالاتر شبکه فرماندهی و کنترل به اطلاعات تفصیلی رادارها نیاز دارند. برای بررسی اثر اندازه شبکه فرماندهی و کنترل، این سناریو برای سه شبکه ی فرماندهی و کنترل اجرا شد. در این سناریو با توجه به اینکه در ۷۰ درصد اوقات به اطلاعات تفصیلی سیستم ها نیاز نمی باشد، و در این مواقع نتیجه تحلیل MAPE-K که حجم بسیار کمی دارد، به مراکز بالاتر ارسال می شود. داده های ارسالی به مراکز بالاتر حجم بسیار کمتری (در شبکه بزرگ در روش مرسوم ۵۹۰٦۲۵ بایت ارسال می شود در حالی که در روش مبتنی بر MAPE-K تنها نیاز به ارسال ۱۷۷٤۵۸ بایت داده می باشد) در مقایسه با روش مرسوم دارد. این سناریو به سناریو واقعی در شبکه های فرماندهی و کنترل است و نتایج ارائه شده، کارایی روش را در دنیای واقعی که با محدودیت پهنای باند مواجه هستیم را نشان می دهد. جدول ۳ مقایسه میزان ارسال اطلاعات به لایه بالاتر را در این سناریو در روش مرسوم و ورش پیشنهادی برای سه شبکه مختلف نشان می دهد. با فرض ثابت بودن نیاز به ارسال اطلاعات تفصیلی، با افزایش اندازه (تعداد رادارها) شبکه فرماندهی و کنترل، میزان کارایی روش پیشنهادی در مقایسه با روش مرسوم افزایش می یابد.

جدول ۳. نتایج شبیه سازی سناریوی اول

	شبکه رادارای کوچک	شبکه رادارای متوسط	شبکه رادارای بزرگ
روش مرسوم	۱۴۰	۲۲۷۸۱	۵۹۰۶۲۵
روش پیشنهادی	۴۹	۶۸۹۷	۱۷۷۴۵۸

۵-۲-۲. نتایج شبیه سازی سناریوی دوم

در این سناریو اثر افزایش ۳۰ درصدی نیاز به اطلاعات تفصیلی در لایه های بالاتر شبکه فرماندهی و کنترل، نسبت به سناریو اول بررسی می شود. با توجه به اینکه در ٦۰ درصد اوقات به اطلاعات تفصیلی سیستم ها نیاز می باشد (دو برابر سناریو قبلی) داده های ارسالی به مراکز فرماندهی و کنترل سطح بالاتر دو برابر سناریو قبلی می باشد. در سناریو Large در روش مرسوم ۵۹۰٦۲۵ بایت ارسال می شود در حالی که در روش مبتنی بر MAPE-K تنها نیاز به ارسال ۳۵٤٦٤۵ بایت داده می باشد.- در مقایسه با روش مرسوم دارد. جدول ٤ نتایج مربوط به سناریو دوم را نشان می دهد. این نتایج کارایی کمتر روش پیشنهادی را با افزایش نیاز به ارسال اطلاعات تفصیلی به لایه بالاتر نسبت به سناریو ۱ نشان می دهد.

جدول ٤. نتایج شبیه سازی سناریوی دوم

	شبکه رادارای کوچک	شبکه رادارای متوسط	شبکه رادارای بزرگ
روش مرسوم	۱۴۰	۲۲۷۸۱	۵۹۰۶۲۵
روش پیشنهادی	۹۱	۱۳۷۳۲	۳۵۴۶۴۵

۵-۲-۳. نتایج شبیه سازی سناریوی سوم

این سناریو به بررسی حالتی پرداخته می شود که در ۹۰ درصد اوقات، لایه های بالاتر شبکه فرماندهی و کنترل به اطلاعات تفصیلی رادار نیاز دارند. در دنیای واقعی این حالت اتفاق نمی افتد و این حالت برای بررسی بیشتر روش پیشنهادی ارائه می شود. با توجه به اینکه در ۹۰ درصد اوقات به اطلاعات تفصیلی سیستم ها نیاز می باشد، و در این مواقع نتیجه تحلیل MAPE-K که حجم بسیار کمی دارد، در درصد کمی (۱۰ درصد کل درخواستها، به مراکز بالاتر ارسال نمی شود، داده های ارسالی به مراکز بالاتر در هر دو سناریو به هم نزدیک می باشند). در سناریو Large در روش مرسوم ۵۹۰٦۲۵ بایت ارسال می شود در حالی که در روش مبتنی بر MAPE-K نیاز به ارسال ۵۳۱۸۳۳ بایت داده می باشد. در مقایسه با روش مرسوم دارد. جدول ۵ نتایج مربوط به سناریو سوم را نشان می دهد.

جدول ۵. نتایج شبیه سازی سناریوی سوم

شبکه راداری بزرگ	شبکه راداری متوسط	شبکه راداری کوچک	
۵۹۰۶۲۵	۲۲۷۸۱	۱۴۰	روش مرسوم
۵۳۱۸۳۳	۲۰۵۶۶	۱۳۳	روش پیشنهادی

با توجه به مباحث مطرح شده، هرچه نیاز به داده های تفصیلی زیرسیستمها کمتر باشد و همچنین تعداد رادار ها در شبکه فرماندهی و کنترل بیشتر باشد، روش ارائه شده نتایج بهتری دارد. با توجه به اینکه در حالت معمول اکثر سیستمها عملیاتی بوده و نیاز به داده های تفصیلی در مواقع نقص فنی در سیستمها پیش می آید. روش ارائه شده در شبکه های فرماندهی و کنترل قابلیت پیاده سازی و اجرا را دارد.

٦. نتیجه گیری

در این مقاله شبکه های فرماندهی و کنترل و چالشهای موجود در این گونه شبکه ها معرفی شدند. از جمله چالشهای این شبکه ها، پهنای باند کم می باشد که با توجه به حجم بالای داده های مانیتورینگ، کنترل و مانیتورینگ راه دور سیستمها را غیر ممکن ساخته است. برای غلبه بر این مشکل و امکان پذیر کردن کنترل و مانیتورینگ راه دور یک معماری مبتنی بر MAPE_K برای مدیریت شبکه فرماندهی و کنترل ارائه شد که کارایی این معماری را با شبیه سازی شبکه فرماندهی و کنترل و داده های مانیتورینگ در سه شبکه فرضی با تعداد سامانه های زیاد، متوسط و کم و در سه حالت نیاز به اطلاعات تفصیلی عیب یابی در ۳۰، ٦۰ و ۱۰ درصد اوقات بررسی شد. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که هرچه نیاز به داده های تفصیلی کمتر باشد (که در دنیای واقعی به این صورت است و تا زمانی که برای سامانه مشکلی پیش نیاید، درخواست نمایش اطلاعات تفصیلی ارسال نمی شود) و شبکه دارای گستردگی بیشتری باشد، کارایی مدل پیشنهادی بیشتر است.

برای تبادل داده بین سیستم های راداری و شبکه فرماندهی و کنترل، یک پروتکل مبتنی بر XML ارائه شد که امکان اتصال سیستم های مختلف موجود را در سریع ترین زمان و با کمترین تغییر و سربار ایجاد می کند. با توجه به اینکه معماری MAPE-K دارای فازهای مانیتورینگ، تحلیل، برنامه ریزی، اجرا و مدیریت دانش می باشد و در روش پیشنهادی فقط به ارائه معماری و یک الگوریتم برای فاز مانیتورینگ پرداخته شد و در کارهای آینده می توان به الگوریتم های مختلف تحلیل داده های دریافتی و اتخاذ تصمیم برای کمک به کاربران سیستم و در نهایت نحوه اجرای این تصمیمات پرداخت. همچنین می توان در کارهای آتی به تامین امنیت این موضوع پرداخت.

۷. مراجع

۷-۱. منابع فارسی

۱. پارسائی، محمدرضا، جاویدان، رضا، سپهوند، رضا (۱۳۹۸)، "ارائه روشی نوین جهت بهبود تحمل پذیری خطا در شبکه های فرماندهی و کنترل با استفاده ازشبکه های مبتنی بر نرم افزار"، فصلنامه علمی پژوهشی علوم و فناوری های پدافند نوین، تهران، سال دهم، شماره ۱.

۲. کشتکار، مهران (۱۳۹۶)، "شناخت ضرورت‌های سامانه ارتباطی در شبکه فرماندهی و کنترل و رتبه‌بندی آن" فصلنامه علمی پژوهشی فرماندهی و کنترل، دوره یکم، شماره ۲.

۳. کاشفی، سعید، آذربر، علی (۱۳۹۳)، "ارائه یک ساختار بهینه فرماندهی و کنترل در شبکه پدافندی C4I"، ارائه شده در سومین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، تهران، قابل دسترسی در ***http://www.civilica.com***.

۴. عبدی، فریدون(۱۳۹۰)، "سامانه فرماندهی و کنترل C5I2 و بررسی نقش رایانه‌ها در آن"، فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت نظامی، سال یازدهم، شماره ۴۲.

۵. بیادی، فرهاد، آذربر، علی (۱۳۸۸)، "طرح بهینه سازی شبکه فرماندهی و کنترل در یک سامانه پدافند هوایی"، ارائه شده در سومین کنفرانس ملی انجمن علمی فرماندهی و کنترل ایران، تهران، قابل دسترسی در ***http://www.civilica.com***.

۷-۲. منابع انگلیسی

[1] Di Valerio, Valerio, Francesco, Presti, Chiara, Petrioli, Luigi Picari, Daniele Spaccini (2016), "A self-adaptive protocol stack for underwater wireless sensor networks", In IEEE OCEANS Conference, available on: ***http://ieeexplore.ieee.org***

[2] IBM Corporation (2005), "An architectural blueprint for autonomic computing", White paper.

[3] Iglesia, Didac Gil De La, Danny, Weyns (2015), "MAPE-K formal templates to rigorously design behaviors for self-adaptive systems", ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, Vol. 10, Issue 3.

[4] Jain, Sumit, Manjeet Gupta, Aditya Baunthiyal, Kanishka, Sarkar (2017). "Standard based application management and system monitoring for modern C4I systems", In IEEE International Conference on Signal Processing and Communication, available on: ***http://ieeexplore.ieee.org***

[5] Paz, Andrés, Hugo, Arboleda (2016), "A model to guide dynamic adaptation planning in self-adaptive systems", Electronic Notes in Theoretical Computer Science.

[6] Stein, Michael, Alexander, Frömmgen, Roland, Kluge, Frank, Löffler, Andy, Schürr, Alejandro, Buchmann, Max, Mühlhäuser (2016), "TARL: Modeling topology adaptations for networking applications", In IEEE 11th International Symposium on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems, available on: ***http://ieeexplore.ieee.org***

[7] Weber, Mark, John, YN Cho, Henry, Thomas (2017), "Command and Control for Multifunction Phased Array Radar", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 55, Issue 10.