فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال چهارم، شماره سه، پاییز 1399

بررسی مدل‌ها و معماری‌های تلفیق‌داده در ارزیابی تهدید اهداف هوایی در سامانه C4I

احسان عظیمی‌راد[1] و سیدرضا موحد قدسی نیا[2]*

تاریخ دریافت: 1399/03/12 تاریخ پذیرش: 1399/07/04

چکیده

با تلفیق‌داده‌ها در شبکه‌های چندسنسوری عدم قطعیت و ابهام در سامانه‌های **C4I** کاهش یافته و پیچیده‌گی و زمان اجرای محاسبات عملیاتی در این سامانه‌ها مستقر در محیط عملیات تقلیل می‌یابد. این‌گونه ترکیب موفق‌آمیز داده‌ها و اطلاعات، به‌وسیله مدل‌ها و معماری‌های گوناگونی انجام می‌شود که به منظور پیاده سازی در کاربردهای گوناگون نظامی‌و غیرنظامی‌ارائه شده است. پیش از انجام فرآیند تلفیق‌داده میان داده‌های دریافتی از سنسورهای مستقر در محیط عملیات، به یک استراتژی مقاوم و سازمان‌یافته برای سهولت‌بخشی به حل آن مسئله نیاز است. به دلیل تفاوت در کاربردهای نظامی‌و غیرنظامی‌تلفیق‌داده، ایجاد یک بستر سخت‌افزاری و نرم‌افزاری واحد برای تلفیق‌داده در سامانه **C4I** امکان‌پذیر نیست. در این سامانه، با توجه به حجم بالا و اهمیت سرعت پردازش و تبادل اطلاعات، استفاده از فناوری تلفیق داده به منظور افزایش دقت و قابلیت اطمینان در نتایج خروجی ناشی از چرخه عملیاتی هر یک از مدل‌ها و معماری‌های تلفیق داده، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله با مروری بر انواع مدل‌ها و معماری‌های مختلف تلفیق‌داده برای ارزیابی تهدید در سامانه **C4I**، به‌معرفی ویژگی‌ها و کاربردهای آن‌ها پرداخته و چالش‌های مربوط به هریک بررسی شده است. شناخت این مدل‌ها و معماری‌ها، زمینه‌ساز برنامه‌ریزی مناسب برای انتخاب یک مدل بهینه و کارآمد جهت ارزیابی تهدید اهداف مختلف در شبکه‌های تلفیق چندسنسوری در سامانه‌های **C4I** خواهد بود.

واژگان کلیدی: شبکه تلفیق داده چندسنسوری، ارزیابی تهدید اهداف، مدل‌های تلفیق‌داده، معماری‌های تلفیق‌داده، سامانه **C4I**.

[1] نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، e.azimi@torbath.ac.ir

[2] استادیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربت‌حیدریه، sr.movahhed@torbath.ac.ir

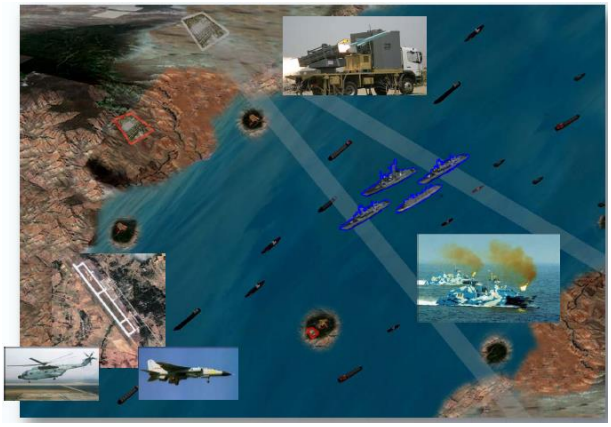
[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

1. مقدمه

تلفیق‌داده مفهومی است که در آن ابزارها و قوانینی که برای تلفیق داده‌های بدست آمده از منابع مختلف در شبکه‌های چندسنسوری استفاده می‌شود، توصیف می‌گردد. تلفیق‌داده در شبکه‌های چندسنسوری کاربردهای مختلفی مانند ربات‌های خودمختار، سیستم‌های تشخیص محیط عملیات و سامانه‌های مدیریت نبرد معروف به C4I[1] دارد[1]. از جمله مسئله‌های کاربردی تلفیق‌داده در حوزه‌های نظامی‌و غیرنظامی می‌توان به مهندسی نگهداری مواد، رباتیک، شناسایی الگو، ردیابی رادار، تشخیص مین، پردازش تصویر، حس‌کردن از راه دور، کنترل ترافیک، سیستم‌های هوافضا، پزشکی و غیره اشاره نمود. از آن‌جایی‌که مدل‌ها و معماری‌های تلفیق‌داده در محیط عملیات به‌شدت به‌کاربرد وابسته‌اند، هیچ مدل و معماری پذیرفته شده عمومی برای تلفیق‌داده سنسورها وجود ندارد و بنابراین یک مدل و معماری به‌تنهایی نمی‌تواند یک راه‌حل مناسب برای تلفیق داده در شبکه‌های چندسنسوری فراهم آورد.

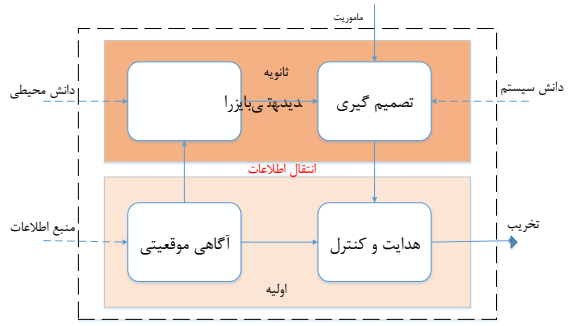
وظیفه اصلی یک سامانه مدیریت نبرد، تجمیع داده‌های خروجی سنسورها، آشکارسازی اهداف، تشخیص اهداف و در نهایت تصمیم‌گیری و مدیریت انواع سلاح‌ها می‌باشد. هدف از قرار دادن چنین سیستمی به‌حداقل رسیدن نقش انسان در صحنه مدیریت نبرد است که متعاقب آن دقت و اطمینان تصمیم‌ها بالا رفته، ریسک تصمیم کاهش یافته و نیاز به نیروی انسانی زبده که دائماً می‌بایست حضور داشته باشد،کاهش می‌یابد[10]-[2].

سامانه تلفیق‌داده، قلب سیستم‌های مدیریت نبرد است؛ در این سامانه، نوع و تعداد سنسورها و قابلیت اعتماد آن‌ها بسیار متنوع بوده و بنابراین تنوع در نوع داده ورودی، نوع اهداف، شرایط محیط نبرد، نوع سلاح، نوع حمله و استراتژی نبرد، اهمیت مسئله تلفیق‌داده را روشن نموده است. بنابراین قابلیت اطمینان یک سامانه مدیریت نبرد بدون استفاده از تلفیق‌داده و آشنایی با مدل‌ها و معماری‌های آن امکان‌پذیر نیست. محیط یک عملیات نظامی در سامانه مدیریت نبرد در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1. یک نمونه از محیط عملیات نظامی در سامانه مدیریت نبرد

در این مقاله انواع مدل‌ها و معماری‌های تلفیق‌داده معرفی گردیده و مقایسه کاملی بین برخی از مهمترین و پرکاربردترین آن‌ها ارائه شده است. شکل 2 اهمیت فرآیند تلفیق‌داده در زیرسامانه کنترل و فرمان در سامانه مدیریت نبرد را نشان می‌دهد[1].



شکل 2. اهمیت تلفیق‌داده در سامانه کنترل و فرمان

این مقاله به شکل زیر ساماندهی شده است. در بخش دوم و بعد از مقدمه، مفاهیم مدل و معماری در تلفیق‌داده ارائه گردیده است. بخش‌های سوم و چهارم به‌ترتیب، به معرفی و بررسی مدل‌ها و معماری‌های تلفیق‌داده می‌پردازند. مقایسه مدل‌ها و معماری‌های ارائه شده در بخش پنجم انجام شده است. در نهایت در بخش ششم، جمع‌بندی و نتیجه گیری ارائه شده است.

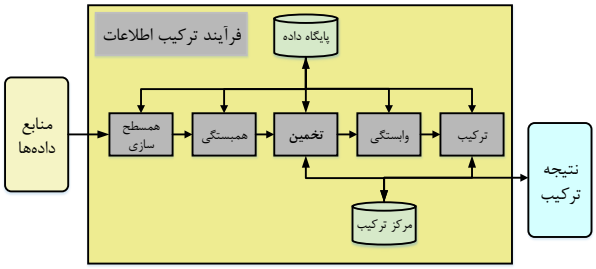
2. مفهوم مدل و معماری در تلفیق‌داده

مسئله تلفیق‌داده بسته به تعداد سنسور و تعداد اهداف موجود در محیط عملیات، به انواع تک‌سنسوره- تک‌هدفه، تک‌سنسوره- چندهدفه و چندسنسوره- چندهدفه تقسیم

[1] and Control, Computers and Intelligence

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

می‌شود. در این مقاله، با توجه به بررسی مفهوم تلفیق‌داده در شبکه‌های چندسنسوری و سامانه‌های مدیریت نبرد، حالت چندسنسوره-چندهدفه مورد انتخاب و بررسی قرار گرفته است[3]. شکل 3 شماتیک عمومی سیستم تلفیق‌داده در شبکه‌های چندسنسوری را نمایش می‌دهد.



شکل 3. شماتیک عمومی سیستم تلفیق‌داده چندسنسوری

به‌طور معمول برای توصیف هر سیستم تلفیق‌داده، باید سه بخش انتخاب شوند: مدل، معماری و چارچوب. مدل، به توصیفی از یک مجموعه از فرآیندها یا پردازش‌ها اطلاق می‌گردد. در حالی‌که به ساختار فیزیکی سیستم، معماری اطلاق می‌شود. در حقیقت معماری؛ مرتب‌کردن بخش‌های مختلف اجزاء، ارتباطات بین آن‌ها، جریان داده بین آن‌ها، اصول و دستورالعمل‌های حاکم بر طراحی آن‌ها و تکامل در زمان می‌باشد. در نهایت، چارچوب به یک مجموعه از اصول و یک سیستم استدلال برای دست‌کاری اشیاء مبتنی بر آن اصول اطلاق می‌گردد. یک مدل در فرآیند تلفیق داده، باید الزاماتی مانند تعریف ترتیب پردازش، آشکارسازی طبیعت حلقوی سیستم و شناسایی مزایا و محدودیت‌های روش‌های مختلف تلفیق را برآورده نماید[20]-[11].

3. مروری بر مدل‌های تلفیق‌داده

3-1. تاریخچه مدل‌های موجود

تلفیق‌داده، ابتدا در دهه 1960 در مقالات علمی و در دهه 1970 در کشور ایالات متحده آمریکا، در زمینه‌های رباتیک و نظامی پیاده‌سازی شد. اولین مدل، در سال 1980 با عنوان Intelligent Cycle یا چرخه هوشمند ارائه شد[21]. این مدل، فرآیند هوشمند را به‌عنوان یک چرخه برای مدل‌سازی فرآیند تلفیق‌داده توصیف می‌کند. سپس در سال 1985 مدل JDL توسط وزارت دفاع آمریکا ارائه گردید[22]. این مدل، فرآیندها، توابع و سطوح مختلف تکنیک‌ها در مقولهٔ تلفیق‌داده را معرفی می‌کند.

در سال 1987 مدل Boyd یا OODA ارائه شد[23]. این مدل برای مدل‌سازی فرآیند عملیات نظامی ارائه گردید و به‌طور وسیعی برای تلفیق‌داده استفاده می‌شود. در سال 1989 مدل Thomopoulos مبتنی بر سه سطح پردازش داده شامل سطح سیگنال، سطح شواهد و سطح دینامیک ارائه گردید[24]. در سال 1996 مدل آگاهی وضعیتی Endsley ارائه شد[25]. این مدل موضوعات جدیدی را برای فرآیند تلفیق‌داده با تمرکز بر روی سطوح بالاتر انتزاع در استنتاج‌های مبتنی بر تلفیق و مبتنی بر آگاهی وضعیتی ارائه می‌نماید. در سال 1997 آقای Dasarathy مدل خود را به‌همین نام ارائه کرد[26]. در این مدل فرآیند تلفیق از سه سطح انتزاعی داده، ویژگی و تصمیم تشکیل شده است. این مدل تلفیق‌داده برحسب مشخصه‌های ورودی و خروجی، یک تابع تلفیق ارائه می‌نماید. همچنین در همین سال، مدل Waterfall در انجمن تلفیق‌داده وزارت دفاع بریتانیا استفاده شد[27]. این مدل بر ارائه توابع پردازشی در سطوح پایین‌تر متمرکز است. آقایان Bowman، Steinberg و White در سال 1998 با ارائه برخی تعاریف جدید برای سطوح مدل اولیه JDL، سطح جدیدی را به مدل اولیه اضافه نموده که سطح دوگان مدیریت منابع نام گرفت[28]. در سال 1999 آقایان Bedworth و OBrien مدل خود با عنوان Omnibus را ارائه کردند[29]. این مدل فرآیند حلقه کنترل/تصمیم مدل OODA را با فرآیند نرم‌افزار Waterfall ترکیب می‌کند. در سال 2002، مدل OODA توسعه‌یافته ارائه شد[30]. این مدل، مکانیزمی را برای چندین فرآیند تلفیق‌داده هم‌زمان فراهم می‌آورد. همچنین در این سال مدل Time-Triggered برای کاربردهای تلفیق سنسور زمان حقیقی ارائه گردید[31]. این مدل، سیستم را به سه سطح مبدل، تلفیق و کنترل تقسیم می‌کند. در سال 2005، آقایان Blasch و Plano مدل DIFG را به منظور توسعه سطح 5 مدل JDL ارائه کردند[32]. بر این اساس، سطح 5 با نام پالایش انسان یا کاربر که مرتبط با موضوعات واسط انسان و کنترل فرآیند تلفیق‌داده است به سطوح مدل JDL اضافه گردید. در مقاله [33] به

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

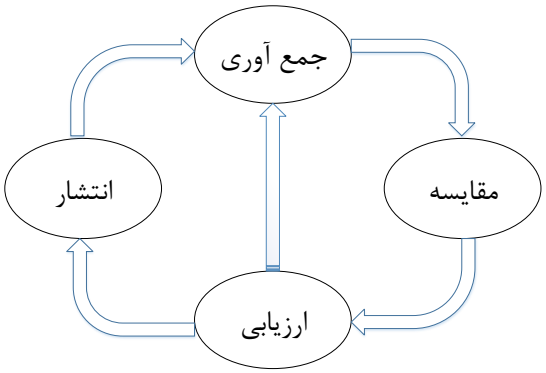
بررسی ابعاد مختلف کاربرد تلفیق‌داده در مسئله مراقبت و نظارت ویدئویی پرداخته شده است. در این مقاله، مدل JDL تشریح و بر مسئله نظارت ویدئویی تطبیق داده شده است. همچنین در مراجع [38]-[34]، برخی از مدل‌ها، معماری‌ها و چارچوب‌های تلفیق‌داده ارائه شده است.

2-3. تشریح اجزاء و عملکرد مدل‌های تلفیق‌داده

1-2-3. مدل چرخه هوشمند

این مدل فرآیند هوشمندسازی شامل فازهای زیر را به‌عنوان یک‌چرخه برای مدل‌سازی تلفیق داده ارائه می‌دهد[21].

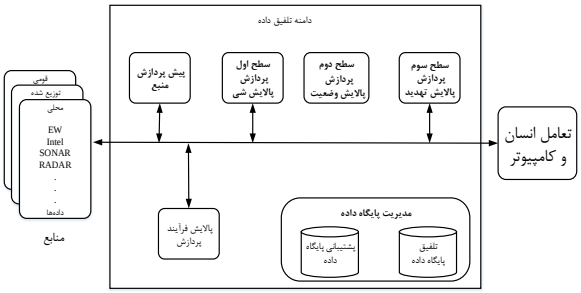
- فاز جمع‌آوری: در این فاز داده هوشمند خام از طریق منابع ورودی شامل سنسور الکتریکی یا انسان بدست می‌آید.
- فاز همسطح‌سازی: در این فاز داده‌های هوشمند مرتبط تحلیل، مقایسه و تصحیح می‌شوند.
- فاز ارزیابی: در این فاز داده‌های قبلی ترکیب‌شده و آنالیز می‌شوند.
- فاز توزیع: در این فاز داده‌های ترکیب شده میان فرماندهان نظامی برای اخذ تصمیم توزیع می‌شوند. شکل 4 نمودار چرخه هوشمند[1] را نشان می‌دهد.



شکل 4. شماتیک چرخه هوشمند

2-2-3. مدل JDL

برای بهبود روابط میان محققان نظامی و مهندسین سیستم، گروه مدیران مشترک آزمایشگاه‌های تلفیق‌داده[2] در وزارت دفاع آمریکا در سال 1985، تلاشی را در جهت ایجاد یک فرهنگ اصطلاحات مربوط به تلفیق‌داده شروع کرد. مدل فرآیند JDL، فرآیندها، توابع، طبقه‌های مختلف تکنیک‌ها، و تکنیک‌های ویژهٔ مورد استفاده در مقولهٔ تلفیق‌داده را معرفی می‌کند. شکل 5 مدل اولیه فرآیند JDL را نشان می‌دهد[22].



شکل 5. مدل اولیه فرآیند JDL

در شکل 5، فرآیند تلفیق‌داده توسط عوامل مختلفی مانند منابع اطلاعاتی، ارتباط متقابل انسان و رایانه، مدیریت پایگاه‌داده، پیش‌پردازش منبع و چهار زیر پردازش کلیدی به‌تصویر کشیده شده است. این چهار زیر پردازش عبارتند از: پردازش سطح 1 (پالایش شیء[3])، پردازش سطح 2 (پالایش وضعیت[4])، پردازش سطح 3 (پالایش تهدید[5]) و پالایش سطح 4 (پالایش فرآیند[6]) که در ادامه وظایف و عملکرد آن‌ها بررسی شده است.

پردازش سطح 1 که پالایش وضعیت نام دارد باعث ترکیب دادهٔ حسگرها می‌شود. این سطح چهار عمل انجام می‌دهد:

1) تبدیل دادهٔ سنسورها به یک مجموعه از واحدها.
2) تخمین‌های به‌دست آمده از موقعیت، قدرت مانور، و مشخصات شیء را پالایش می‌کند.
3) داده‌ها را به اشیاء مرتبط می‌کند تا بتوان از تکنیک‌های تخمین آماری استفاده کرد.
4) تخمین‌های به‌دست آمده از هویت و طبقهٔ اشیاء را پالایش می‌کند. در این مرحله طبقه‌بندی هویت انجام می‌شود.

در پردازش سطح 2 پالایش وضعیت محیطی به‌منظور ساخت یک تصویر از محیط عملیات از طریق برقراری ارتباط میان اشیاء و رویدادهای پیرامون آن‌ها صورت می‌پذیرد. با

[1] Intelligence Cycle
[2] Joint Director of Laboratories (JDL)
[3] Object Refinement
[4] Situation Refinement
[5] Impact Refinement
[6] Process Refinement

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

پردازش این سطح، توزیع‌های مختلف اشیاء مورد ارزیابی قرار می‌گیرند تا آن‌ها را به‌صورت سیستم‌های سلاحی عملیاتی برای ساخت یک تصویر عملیاتی مشترک[1] گردآوری کنند.

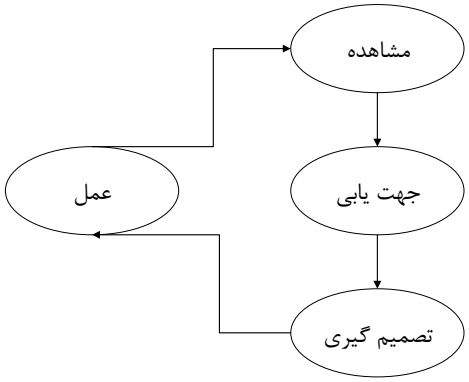
پردازش سطح 3 شرایط فعلی را به آینده مرتبط می‌کند و استنتاجاتی در مورد تهدیدات دشمن، میزان آسیب‌پذیری دوست و دشمن، و فرصت‌های مناسب برای اجرای عملیات‌ها ترسیم می‌کند. در واقع این پردازش به پالایش میزان تهدید بودن اشیاء در محیط عملیات می‌پردازد. در این سطح، فرضیه-های مختلفی در مورد استراتژی‌های دشمن ایجاد می‌شود.

پردازش سطح 4 یک فراپردازش برای بررسی و نظارت بر کل فرآیند تلفیق‌داده است تا عملکرد سیستم‌های بلادرنگ را مورد ارزیابی قرار داده و بهبود بخشد. این سطح که بر روی کل فرآیند پردازش نظارت می‌کند، 4 عمل کلیدی انجام می‌دهد:

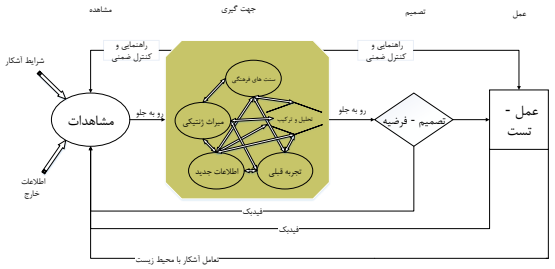
1) برای به دست آوردن اطلاعات بلادرنگ سیستم و عملکرد آن، بر نحوهٔ فرآیند تلفیق‌داده نظارت می‌کند.
2) نوع اطلاعات اعم از استنباط‌ها، موقعیت‌ها و هویت‌ها برای نتایج تلفیق چندسطحی را تعیین می‌کند.
3) مشخص می‌کند که چه منابعی از قبیل نوع حسگر و پایگاه‌داده برای جمع‌آوری اطلاعات مرتبط لازم است.
4) مکان حسگرها را مشخص کرده و آن‌ها را برای بهینه-سازی محل سنسورها اداره می‌کند.

3-2-3. مدل

این مدل که در سال 1987 ارائه گردید، برای مدل‌سازی فرآیند نظامی‌ساخته شد و به‌طور وسیعی برای تلفیق‌داده نیز استفاده شده است[23]. چرخه کنترل یا حلقه [2] OODA، مکانیزم پشتیبانی-تصمیم را در عملیات اطلاعات نظامی نمایش می‌دهد. این حلقه دارای 4 فاز مشاهده، گرایش، تصمیم و عمل می‌باشد. شکل‌های 6 و 7، حلقه و طرح اولیه حلقه OODA را نشان می‌دهند.



شکل 6. حلقه کنترل Boyd



شکل 7. طرح حلقه OODA

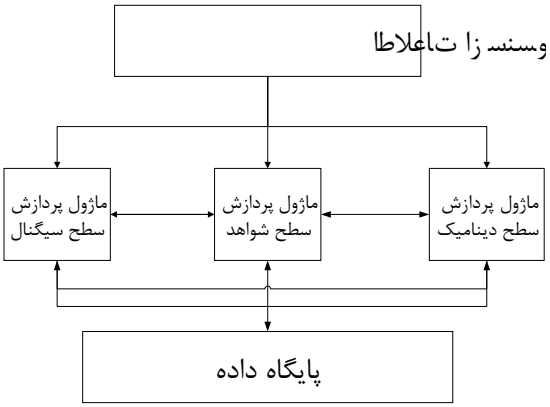
3-2-4. مدل

این مدل در سال 1989 توسط آقای ارائه گردید که مبتنی بر سه سطح پردازش داده می‌باشد[24]. این سه سطح عبارتند از: سطح سیگنال، سطح شواهد و سطح دینامیک. در سطح سیگنال، ادغام سنسور و ترکیب داده از طریق همبستگی یا ارتباط و یادگیری اتفاق می‌افتد. سطح شواهد نیازمند یک مدل آماری توصیف کننده فرآیند است تا به‌وسیله آن داده به‌دست آمده از سنسورهای مختلف را پردازش نماید. در سطح دینامیک، مشاهدات مختلف به‌شیوه متمرکز یا غیرمتمرکز ترکیب می‌شوند.

مطابق نظر آقای تومپولوس، هر سیستم تلفیق‌داده باید سه معیار ضروری برای رسیدن به عملکرد مطلوب را داشته باشد. (1) سیستم پس از تلفیق‌داده یکنواخت بماند. (2) در محیط‌های پیچیده قابل اعمال باشد. و (3) نسبت به عدم-قطعیت‌های گوناگون مقاوم باشد. شکل 8 این مدل را نشان می‌دهد.

[1] Common Operational Picture
[2] Observe, Orient, Decide and Act

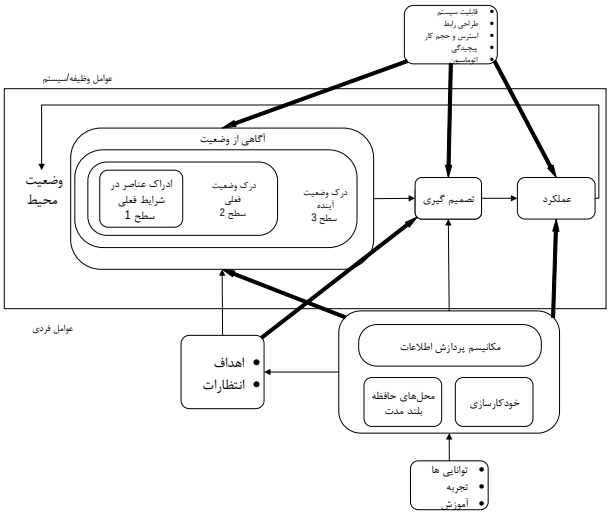
[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]



شکل 8. مدل تلفیق‌داده Thomopoulos

3-2-5. مدل Endsley

این مدل که توسط آقای Endsley در سال 1996 ارائه شده است**[25]**، موضوعات جدیدی را برای فرآیند تلفیق‌داده با تمرکز بر روی سطوح بالاتر انتزاع در استنتاج‌های مبتنی بر تلفیق و مبتنی بر آگاهی‌وضعیتی ارائه نموده است. مدل اندسلی، عمدتاً برای مدل‌کردن آگاهی از موقعیت استفاده می‌شود. این مدل یک مدل شناختی است و از تعریف عمومی آگاهی از موقعیت که در بسیاری از دامنه‌ها قابل تعریف است استفاده می‌کند. آگاهی از موقعیت به‌معنای آگاهی از المان‌های موجود در محیط در بازه‌ای از زمان و فضا، درک هدف و طرح وضعیت آن‌ها در آینده نزدیک می‌باشد. این مدل دو بخش اصلی دارد: (1) هسته آگاهی وضعیتی[1] و (2) مجموعه‌های متنوعی از فاکتورهایی که روی هسته اثر می‌گذارند. شکل 9 این دو بخش و سایر قسمت‌های تأثیرگذار در این مدل را نشان می‌دهد.



شکل 9. مدل آگاهی وضعیتی Endsley

هسته به سه سطح استنباط، ادراک و تخمین تقسیم می‌شود. استنباط، اطلاعاتی را در مورد حالت، صفات و تحرک عناصر مطرح در محیط فراهم می‌نماید. در واقع این قسمت، استنباطی از عناصر گوناگون در محیط را بیان می‌کند. در ادراک، چندین قطعه از اطلاعات باهم جمع و دانش را به‌وجود می‌آورند. دانش ایجاد شده برای تولید یک تصویر از اشیاء درون محیط عملیات به‌کار می‌رود. تخمین، حالت‌های محیط را در آینده نزدیک مبتنی بر شناخت حالت جاری پیش‌بینی می‌کند. سطوح پیشنهاد شده در مدل آگاهی وضعیتی مشابه سطوح سنسور، ویژگی و تصمیم بوده که به‌صورت نیمه‌خودکار طراحی شده و به انسان اجازه تصمیم‌سازی می‌دهند. این سطوح عبارتند از:

- سطح1: مشاهده المان‌های موجود در محیط که وظیفه درک موقعیت، صفات و پویایی آن‌ها را برعهده دارد.
- سطح2: فهم موقعیت جاری که مبتنی بر ترکیب المان‌های گسسته سطح قبل و فهمیدن ارتباط آن‌ها می‌باشد.
- سطح3: طرح وضعیت آینده که توانایی پیش‌بینی رویدادها را از طریق دانش در مورد وضعیت‌ها و پویایی المان‌ها و فهم موقعیت (در سطح 1 و 2) به‌دست می‌دهد.

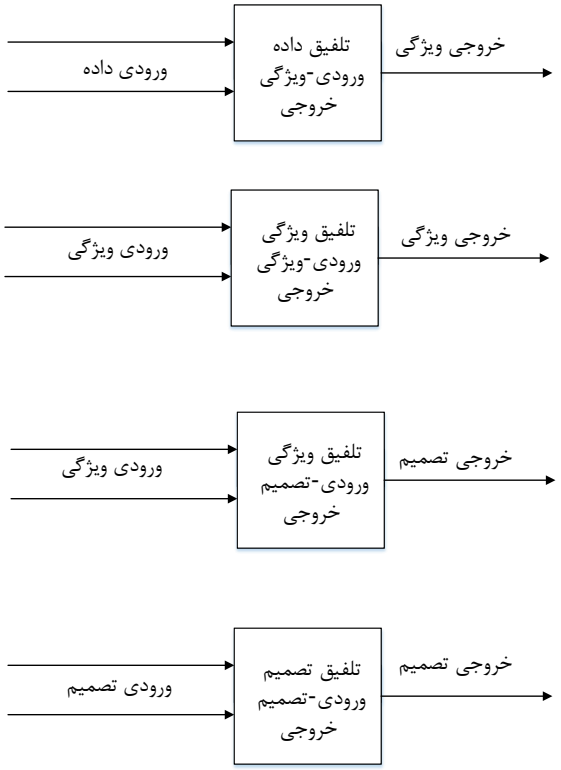
3-2-6. مدل Dasarathy

داساراتی در سال 1997 تلفیق‌داده را برحسب مشخصه‌های ورودی و خروجی یک تابع تلفیق ارائه شده مشخص نمود**[26]**. مدل پیشنهادی داساراتی شامل سه سطح انتزاعی در

[1] Situation Awareness Core

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

پردازش ترکیب است. این سه سطح عبارتند از سطح داده، سطح ویژگی و سطح تصمیم. این مدل می‌تواند در هر یک از فعالیت‌های تلفیق استفاده شود. شکل 10 این طبقه بندی مبتنی بر ورودی و خروجی را برطبق مدل داساراتی نشان می‌دهد.

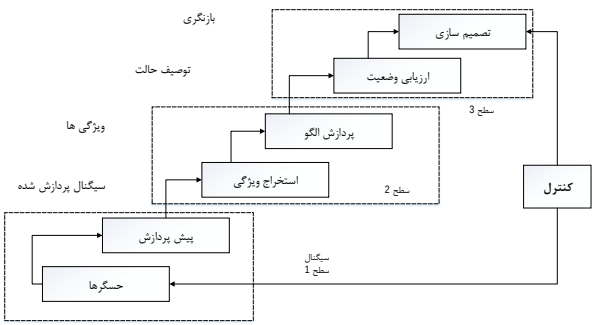


شکل 10. طبقه بندی تلفیق‌داده در مدل داساراتی

این مدل نشان می‌دهد که طبقه‌بندی توابع تلفیق‌داده برحسب نوع سطح داده در ورودی- خروجی انجام می‌شود.

3-2-7. مدل Waterfall

مدل آبشاری Waterfall در سال 1997 در انجمن تلفیق‌داده وزارت دفاع بریتانیا استفاده شد[27]. این مدل بر ارائه توابع پردازشی در سطوح پایین‌تر تأکید می‌ورزد. مدل واترفال شامل سه سطح است که شامل (1) آشکارسازی و پردازش سیگنال، (2) استخراج ویژگی و پردازش الگو و (3) ارزیابی موقعیت و تصمیم‌سازی می‌شود. شکل 11 این مدل را نشان می‌دهد.

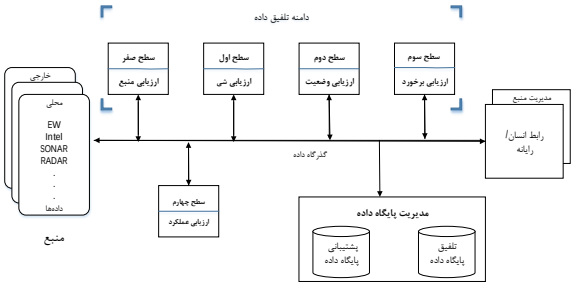


شکل 11. مدل آبشاری Waterfall

در سطح 1، داده خام توسط حسگرها دریافت شده و مشخصات مورد نیاز درباره محیط را فراهم می‌کند. در سطح 2، این فرآیند تا حصول یک استنتاج سطح سمبل درباره داده انجام می‌شود. خروجی این سطح، یک لیست از تخمین‌ها به‌همراه احتمالات مرتبط با آن‌ها می‌باشد. سطح 3، اشیاء را به رخدادها مرتبط نموده و اطلاعاتی که از کتابخانه‌ها، پایگاه‌های داده موجود و فعل و انفعال انسان جمع‌آوری شده است را ذخیره می‌نماید. این مدل در تحلیل فرآیند تلفیق، از دیگر مدل‌های قبلی واقعی‌تر است اما فقدان فیدبک در جریان داده داخل مدل از اشکالات آن است.

3-2-8. مدل JDL اصلاح شده

با توجه به اینکه در مدل JDL اولیه، توجه به مسائل تلفیق چندتصویری و پشتیبانی از سنسورهای چندبخشی صورت نمی‌پذیرفت لذا آقایان استاینبرگ، باومن و وایت در سال 1998 با ارائه برخی تعاریف جدید برای سطوح مدل اولیه JDL، سطح جدیدی را به مدل اولیه اضافه نموده و بخشی از اشکالات مدل قبلی را برطرف نمودند[28]. آن‌ها تعاریف تلفیق‌داده و توابع تلفیق را توسعه داده و یک روش برای استاندارد کردن متدولوژی طراحی مهندسی فرایندهای تلفیق‌داده ارائه نمودند. آن‌ها هم‌چنین تعاریف سطوح تلفیق‌داده که در مدل اولیه تلفیق‌داده JDL در شکل 7 نشان داده شده است را اصلاح کردند. شکل 12 مدل اصلاح شده جدید JDL را نمایش می‌دهد.



شکل 12. مدل JDL اصلاح شده در سال 1998

از جمله اصلاحات انجام شده در مدل شکل 12 می‌توان به اضافه شدن سطح 0 با عنوان ارزیابی صفات شیء، تغییر

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

ماهیت عملکردی سطح 5 و همچنین تغییر در تعاریف سطوح پنج‌گانه پردازشی و وظایف محول‌شده جدید به آن‌ها اشاره نمود. در این شکل، پنج سطح تلفیق در دو دسته فرآیندهای تلفیق سطح پایین (سطح 0 و 1) و فرآیندهای تلفیق سطح بالا (سطح 2 تا 4) طبقه‌بندی شده‌اند. تعاریف جدید ارائه شده برای سطوح مدل JDL اصلاح شده به‌شرح ذیل می‌باشد.

1) سطح0 (ارزیابی صفات شیء[1]): در این سطح، حالت اشیاء بر پایه داده سطح سیگنال، تخمین زده می‌شود.
2) سطح1 (ارزیابی شیء[2]): در این سطح، نوع اشیاء برپایه استنتاج حاصل از مشاهدات، تخمین‌زده می‌شود.
3) سطح2 (ارزیابی موقعیت[3]): در این سطح، موقعیت اشیاء تخمین‌زده شده و یک تصویر از محیط ایجاد می‌شود.
4) سطح3 (ارزیابی برخورد[4]): در این سطح، میزان اثر یا تهدید اشیاء تخمین‌زده شده در محیط محاسبه می‌شود.
5) سطح4 (ارزیابی کارایی[5]): در این سطح، پشتیبانی از مأموریت تلفیق‌داده توسط مدل انجام می‌شود.

کامل‌ترین زمینهٔ فرآیند تلفیق‌داده ارزیابی سطح 1 یعنی استفاده از تلفیق‌داده برای تعیین موقعیت، سرعت، مشخصات، و هویت یک شیء و همچنین ارزیابی سطح 4 یعنی استفاده از تلفیق‌داده برای تخمین اندازه اثربخشی سیستم داده شده است. جدول 1 خلاصه‌ای از سطوح، توابع پردازشی و تکنیک‌های مدل JDL را بیان می‌کند.

جدول 1. سطوح، توابع پردازشی و تکنیک‌های مدل JDL

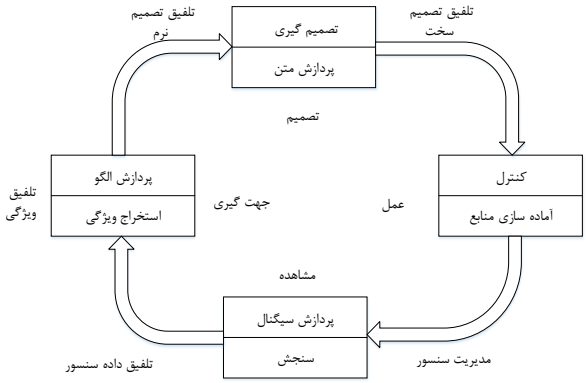
سطوح	توابع پردازشی	تکنیک ها مدل JDL
سطح 1: پالایش شیء	تنظیم داده	• تبدیل مختصات • تنظیم واحد
	همبستگی داده یا شیء	• تکنیک‌های دروازه‌ای • وابستگی چندین فرضیه • وابستگی داده احتمالاتی • نزدیکترین همسایه
	تخمین صفت و موقعیت	• تخمین متوالی ✓ فیلتر کالمن ✓ فیلتر آلفا و بتا ✓ چندین فرضیه • تخمین دسته‌ای • بیشترین احتمال • روش‌های ترکیبی
	تخمین هویت شیء	• مدل‌های فیزیکی • تکنیک‌های مبتنی بر ویژگی ✓ شبکه های عصبی ✓ الگوریتم خوشه ✓ شناسایی الگو • مدل های نحوی
سطح 2: پالایش وضعیت	تجمع شیء شرح فعالیت / رخداد ترجمه متنی	• سیستم های مبتنی بر دانش ✓ سیستم های مبتنی بر قانون ✓ منطق قاری ✓ مبتنی بر قریم • قالب بندی منطقی • شبکه های عصبی ✓ سیستم های تخته سیاه
سطح 3: پالایش تهدید	تخمین نیروی تجمیع پیش‌بینی قصد ارزیابی چند چشم اندازه	• شبکه های عصبی ✓ سیستم های تخته سیاه • مدل های تعاملی زمان سریع
سطح 4: پالایش فرآیند	ارزیابی عملکرد	• اندازه گیری ارزیابی • اندازه گیری عملکرد • نظریه ابزار
	کنترل فرآیند	• بهینه سازی چند هدفی ✓ برنامه ریزی خطی ✓ برنامه ریزی هدف
	تعیین نیاز منبع	• مدل های سنسوری
	مدیریت مأموریت	• سیستم‌های مبتنی بر دانش

3-2-9. مدل Omnibus

این مدل در سال 1999 توسط آقایان بِدوُرث و اُبرین ارائه گردید[29]. این مدل ترکیبی از سه مدل Boyd، Dasarathy و Waterfall است که با در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف مدل‌های موجود طراحی شده است. این مدل برخلاف مدل JDL، ترتیب پردازش‌ها را مشخص کرده و عملکرد حلقه را شفاف می‌کند. ساختار حلقه‌ای می‌تواند با چرخه Boyd مقایسه شود اما در مدل Omnibus ساختار چرخه‌ای سطوح پردازشی، یک ساختار مناسب‌تر است. این مدل، مبتنی بر طبیعت چرخه-ای حلقه کنترل Boyd و Intelligence Cycle است اما از تعریف مناسب‌تر مدل Waterfall استفاده می‌کند. دو راه برای استفاده از این مدل پیشنهاد شده است. یکی از راه‌ها، مشخص کردن و تقسیم نمودن سیستم سراسری با هدف فراهم نمودن یک لیست مرتب شده از کارها است و دیگری استفاده از ساختار مشابه برای سازماندهی اهداف عملکردی هر کار می‌باشد. شکل 13 این مدل را با ساختار حلقه‌ای آن نشان می‌دهد.

[1] Sub-Object Assessment
[2] Object Assessment
[3] Situation Assessment
[4] Impact Assessment
[5] Performance Assessment

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

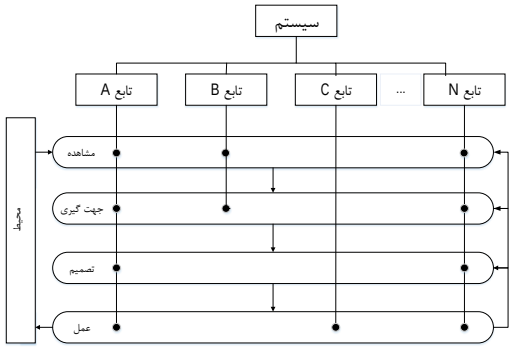


شکل 13. مدل Omnibus

اشکال عمده این مدل پرداختن به مفاهیمی مانند مدل تلفیق داده، سطوح پردازش و معماری درون آن است که موجب برداشت‌های اشتباه در عملیات داخل حلقه می‌شود.

۳-۲-۱۰. مدل OODA توسعه‌یافته

مدل OODA توسعه‌یافته[1]، مکانیزمی را برای چندین فرآیند تلفیق داده همزمان و به‌طور بالقوه فراهم می‌آورد. این مدل به مجموعه‌ای از N تابع سطح بالا تجزیه می‌شود. این توابع برحسب چهار سطحی که مدل OODA را می‌سازند، یعنی حلقه مشاهده، گرایش، تصمیم و عمل امتحان می‌شوند[30]. این مدل قابلیت حلقه تودرتو مربوط به مدل Omnibus را فراهم می‌آورد. شکل 14 مکانیزم مدل OODA توسعه‌یافته را نشان می‌دهد.



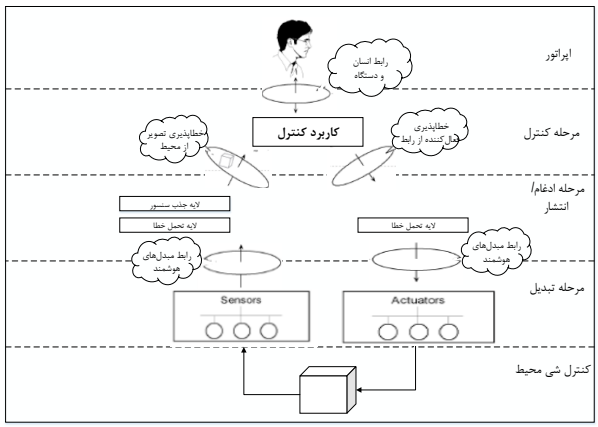
شکل 14. مدل OODA توسعه‌یافته

یک سیستم که از تلفیق‌داده برای تصمیم‌سازی استفاده می‌کند به یک مجموعه بامعنی از توابع سطح بالا تجزیه می‌شود. این توابع برحسب حلقه مشاهده، گرایش، تصمیم و عمل مدل OODA امتحان می‌شوند. این توابع هریک به تنهایی می‌تواند به چندین تابع دیگر تجزیه شده و قابل ارزیابی در هر فاز مدل OODA می‌باشد. شکل 14 هر تابع را در فازهای مناسب مدل OODA با یک گره نشان می‌دهد. در مدل OODA توسعه‌یافته توابع در فازهای مشاهده، گرایش و تصمیم، تنها بر توابع در فاز OODA بعدی اثر می‌گذارند. در حالی که فاز عمل نه تنها روی محیط عمل می‌کند، بلکه امکان دارد به‌طور مستقیم توابعی را در هر فاز OODA تحت تأثیر قرار دهد.

۳-۲-۱۱. مدل Time-Triggered

این مدل که در شکل 15 نشان داده شده است، در سال 2002 برای کاربردهای ترکیب سنسور زمان واقعی ارائه شد که این مسئله، سیستم را به سه سطح تقسیم می‌کند[31]:

1) سطح مبدل: این سطح شامل سنسورها و مبدل‌ها است که اندازه‌گیری‌های موفقی را برای بهبود کیفیت‌داده یک سنسور انجام می‌دهد.
2) سطح توزیع: در این سطح جمع‌آوری اندازه‌گیری‌ها، انجام ترکیب‌سنسوری و توزیع اطلاعات‌کنترلی توسط الگوریتم متوسط‌گیری وزن‌دار انجام می‌شود.
3) سطح کنترل: این سطح شامل یک برنامه کنترلی است که تصمیم‌سازی مبتنی بر اطلاعات محیطی را انجام می‌دهد. شکل زیر این مدل تلفیق‌داده را با جزئیات مراحل پردازشی آن نمایش می‌دهد.



شکل 15. مدل Time-Triggered

این مدل یک مجموعه از کارها را توصیف می‌کند و همه فعالیت‌های لازم مثل اندازه‌گیری، پردازش‌داده، تصمیم‌گیری و حرکت را نمایش می‌دهند. جدول 2، سطوح مختلف در این

[1] Extended OODA

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

مدل به‌همراه کار صورت گرفته، مجری و دانش لازم برای کنترل تصمیمات را نشان می‌دهد.

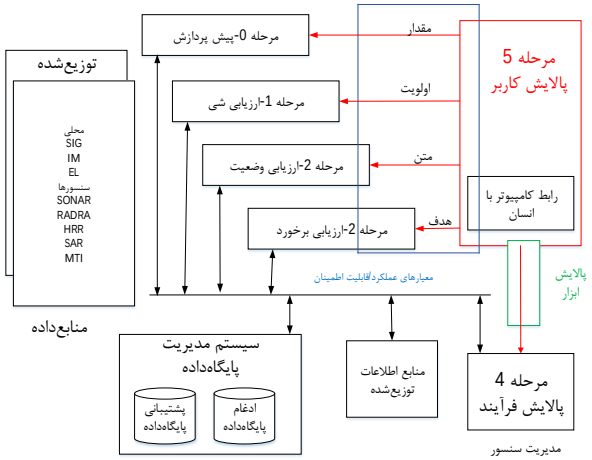
جدول 2. توصیف سطوح مدل ترکیب سنسور Time-Triggered

مرحله	وظیفه	عملگر	دانش
مرحله تبدیل	تحویل اندازه گیری سنسورمحرک ابزار	تولیدکننده مبدل	داخل سنسور/ فعال کننده
مرحله‌همجوشی / انتشار	اطلاعات حسگر را جمع آوری ، پردازش و نمایندگی می‌کند ؛ تصمیم کنترل را بر روی محرک ها پخش می‌کند	یکپارچه ساز سیستم	الگوریتم های تلفیق حسگر ، مفاهیم تحمل خطا
مرحله کنترل	یک تصمیم کنترل ، تاویری و برنامه ریزی پیدا می‌کند	برنامه نویس کاربردی	اهداف ماموریت ، نظریه کنترل ، تصمیم گیری
اپراتور	تعریف اهداف	———	مدل مفهومی سیستم

3-2-۱۲. مدل DFIG

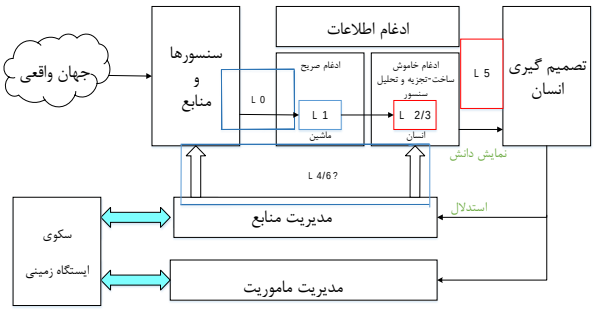
در سال 2003، آقایان بِلَش و پِلانو مدل DFIG را به‌منظور توسعه سطح 5 مدل JDL ارائه کردند[32]. در حقیقت بازبینی و ارتقاء مدل تلفیق‌داده JDL توسط ایشان صورت گرفت که هدف اصلی آن جدا کردن تلفیق اطلاعات از توابع مدیریتی بود. مدل بازبینی شده JDL در شکل 16 نشان داده شده است. براین اساس سطح 5 با نام پالایش انسان یا کاربر که مرتبط با موضوعات واسط انسان و کنترل فرآیند تلفیق‌داده است، به سطوح مدل JDL اضافه گردید. بنابراین سطوح 0 تا 3 به‌عنوان چهار سطح قبلی و سطوح 4 و 5 به‌عنوان دو سطح توسعه داده شده هستند. سطح 4 در مدیریت منابع و سطح 5 به‌عنوان بخشی از توابع واسط انسان و ماشین تعریف شده‌اند. سطوح هفت‌گانه مدل DFIG به‌صورت زیر تعریف می‌گردند.

1) سطح0 (ارزیابی داده): تخمین حالت‌های قابل مشاهده شیء یا سیگنال بر پایه تجمع داده‌های سطح سیگنال.
2) سطح1 (ارزیابی شیء): تخمین حالت‌های شیء بر پایه تجمع داده، تخمین حالت پیوسته و تخمین حالت گسسته.
3) سطح2 (ارزیابی موقعیت): تخمین و پیش‌بینی ارتباط بین اشیاء، ساختار نیرویی و ارتباط نیروها.
4) سطح3 (ارزیابی برخورد): تخمین اثرات روی موقعیت و عمل برنامه‌ریزی شده به‌وسیله شرکت‌کنندگان.
5) سطح4 (پالایش فرآیند): در این سطح عنصر مدیریت منابع، پردازش داده‌های تطبیقی را انجام می‌دهد.
6) سطح5 (پالایش کاربر): انجام مدیریت دانش برای تعیین نوع و فردی که به اطلاعات دسترسی دارد.
7) سطح6 (مدیریت مأموریت): مدیریت پلت‌فرم به‌منظور حمایت از تصمیم‌گیری برای اجرای مأموریت.



شکل 16. مدل بازبینی شده JDL توسط بِلَش [61]

استدلال ارزیابی موقعیت و نمایش دانش از مسائل مهم پرداخته شده توسط مدل DFIG است. شکل 17 این مدل را نشان می‌دهد.



شکل 17. مدل پیشنهادی DFIG

4. مروری بر معماری‌های تلفیق‌داده

4-1. تاریخچه معماری‌های موجود

اولین معماری در سال 1980 و توسط آقای Bowman پیشنهاد گردید[40]-[39]. همچنین آقایان Luo و Kay در سال 1988 یک ساختار تلفیق‌داده عمومی مبتنی بر ادغام چندسنسوری ارائه کردند. در این معماری، داده‌ها از منابع مختلف داخل مراکز تلفیق تعبیه شده به‌شیوه سلسله مراتبی

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

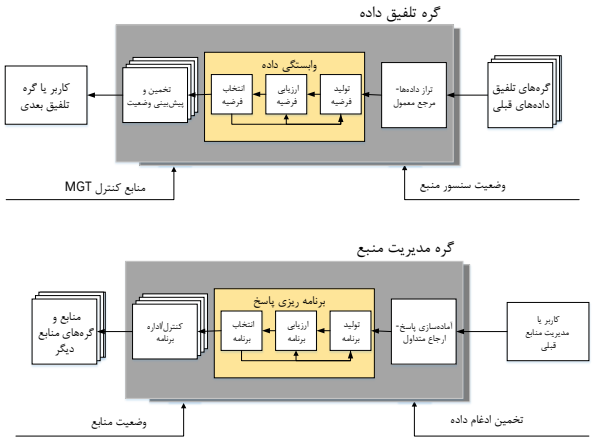
ترکیب می‌شوند[41]. در همین سال معماری Pau ارائه شد که یک معماری سلسله مراتبی بود و مدلی برای تلفیق داده مبتنی بر دانش رفتاری ارائه می‌کرد[42]. همچنین Durrant-Whyte در این سال، معماری تلفیق‌داده جهت استفاده در سیستم‌های رباتیک را ارائه نمود. مشخصه اصلی این معماری استفاده از یک فرمت نمایشی مشترک است. داده‌های به‌دست آمده از همه سنسورها به این فرمت تبدیل شده و با یک مدل تلفیقی سطح بالا یا سطح تصمیم ترکیب می‌شود[43]. در سال 1993 معماری تلفیق‌داده و مدیریت منابع توسط آقای Bowman به منظور انجام مدیریت پاسخ، توسعه داده شد. مبتنی بر این معماری، اجزای نرم‌افزاری، واسطها و متدولوژی مهندسی برای توسعه نرم‌افزاری فرآیند تلفیق‌داده فراهم گردید. در سال 1998 یک معماری مجتمع برای طراحی و پیاده‌سازی ربات‌های متحرک در حالت زمان واقعی و با قابلیت استفاده مجدد، به‌نام LAAS ارائه گردید[44]. معماری LAAS تلفیق‌داده سنسوری سطح پایین و میانی را برای ماژول‌بندی سطح تابعی طرح‌ریزی می‌کند. در این معماری تلفیق‌داده سنسوری سطح بالا در سطح تصمیم نمایش داده می‌شود.

به منظور تلفیق‌داده در سطح یک مدل JDL، معماری‌های گوناگونی ارائه شده‌اند که به دو دسته کلی تلفیق‌داده‌های جنبشی و تلفیق‌داده هویتی قابل تقسیم‌اند. از جمله معماری‌های دسته اول می‌توان به معماری Centralized، Autonomous و Hybrid و از جمله معماری‌های دسته دوم می‌توان به معماری تلفیق سطح‌داده، سطح ویژگی و سطح تصمیم اشاره نمود[46]-[45]. تفسیر و توضیح داده‌های تلفیق شده در سطوح ارزیابی موقعیت و ارزیابی تهدید مدل JDL، نیازمند یادگیری تکنیک‌های استدلال خودکار می‌باشد. در همین خصوص، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا سیستم‌های خبره به منظور تبیین سیستم‌های پردازشی سطح 1، تحلیل موضوعاتی مانند محتوای داده مشاهده شده، ارتباط بین اشیاء مشاهده شده، گروه‌بندی سلسله مراتبی اهداف یا اشیاء و پیش‌بینی آینده اشیاء یا اهداف، توسعه داده شده‌اند. یک روش کاربردی در تلفیق‌داده، ارائه معماری سیستم‌های مبتنی بر دانش از قبیل تخته‌سیاه می‌باشد[47]. در مراجع[53]-[48] به برخی از معماری‌ها و چارچوب‌های موجود تلفیق‌داده اشاره شده است.

4-2. تشریح اجزاء و عملکرد معماری‌های تلفیق‌داده

4-2-1. معماری Bowman

این معماری در سال 1980 توسط آقای باومن[1] برای تلفیق‌داده طراحی و ارائه شد[40]-[39]. در این معماری تابع پالایش فرآیند که در نسخه جدید مدل JDL بخشی از تابع مدیریت منابع است؛ به‌عنوان سطح 4 مطرح گردید. همان‌طور که بین تخمین و کنترل، ارتباط وجود دارد، بین تلفیق‌داده و مدیریت منابع نیز ارتباط بیشتری وجود دارد و این مسئله منجر به ارتباط بین وابستگی و برنامه‌ریزی نیز شده است. سیستم تلفیق‌داده و مدیریت منابع[2] از گره‌های تلفیق و مدیریت، ایجاد می‌شود. شکل 18 دوگانگی این دو گره را نشان می‌دهد.



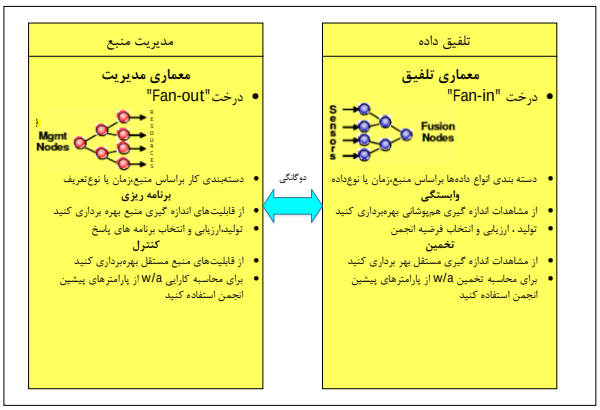
شکل 18. دوگانگی گره‌های مدیریت منابع و تلفیق‌داده

سطوح توأمان این معماری، شناخت تکنیک‌هایی برای طراحی هر کدام از سطح‌ها را فراهم می‌آورد. این سطوح به‌علت تفاوت‌های بامعنی در انواع داده، منابع، مدل‌ها و استنتاج‌های لازم برای هر کدام از سطح‌ها، تقسیم‌بندی می‌شوند. در این معماری همه سطوح تلفیق با استفاده از یک شبکه Fan-in از گره‌های تلفیق می‌توانند پیاده‌سازی شوند که هر گره مواردی مانند آماده‌سازی داده، وابستگی داده و تخمین حالت را انجام می‌دهد. همچنین در این معماری همه سطوح مدیریت با استفاده از یک شبکه Fan-out از گره‌های مدیریت

[1] Bawman
[2] Data Fusion & Resource Management

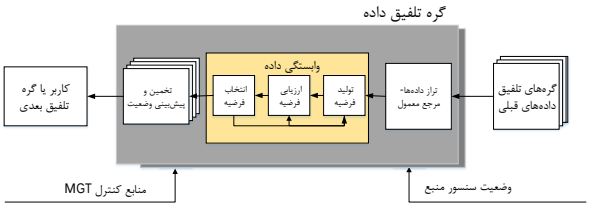
[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

می‌توانند پیاده‌سازی شوند که هر گره مواردی مانند آماده‌سازی کار، برنامه‌ریزی کار و کنترل حالت منبع را انجام می‌دهد. شکل 19 دوگانگی و ارتباط بین تلفیق‌داده و مدیریت منابع را نشان می‌دهد.



شکل 19. دوگانگی بین مدیریت منابع و تلفیق‌داده

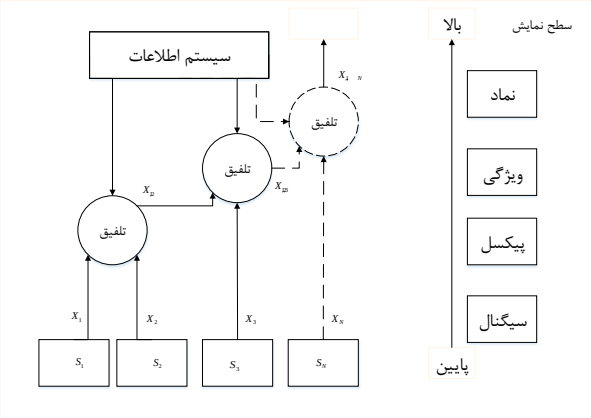
آقای باومن در کار خود مفهوم یک درخت تلفیق‌داده سلسله مراتبی را توسعه داده است تا مسائل تلفیق را به گره-هایی تقسیم کند. هر گره از نظر مفهومی‌توابعی مانند پیوند داده، همبستگی و تخمین را در بر می‌گیرد. شکل 20 نمونه‌ای از گره درخت تلفیق داده ارائه شده توسط ایشان را نشان می‌دهد.



شکل 20. معماری گره درخت تلفیق‌داده Bowman

4-2-2. معماری Luo and Kay

آقایان لو و کی[1] در سال 1988 یک ساختار تلفیق‌داده عمومی مبتنی بر ادغام چندسنسوری ارائه کردند. در این سیستم، داده از منابع مختلف داخل مراکز تلفیق تعبیه شده به-شیوه سلسله‌مراتبی ترکیب می‌شوند. آن‌ها تمایز آشکاری بین ادغام چندسنسوری و تلفیق چندسنسوری به‌وجود آورده و مدل ترکیب چندسنسوری را در چهار سطح سیگنال، پیکسل، ویژگی و سمبل به‌ترتیب از سطح پایین به بالا بیان کردند. شکل 21 این معماری را نشان می‌دهد[41].



شکل 21. معماری ترکیب چندسنسوری Luo and Kay

در این معماری داده جمع‌آوری شده در سطح سنسور به مراکز تلفیق برای اجرای عملیات فرآیند تلفیق به‌شیوه سلسله مراتبی و ترتیبی انتقال می‌یابد. همان‌طور که اطلاعات در مراکز تلفیق مختلف، ترکیب می‌شوند، سطح نمایش داده از داده خام یا سطح سیگنال تا سطح نماد یا تصمیم افزایش پیدا می‌کند.

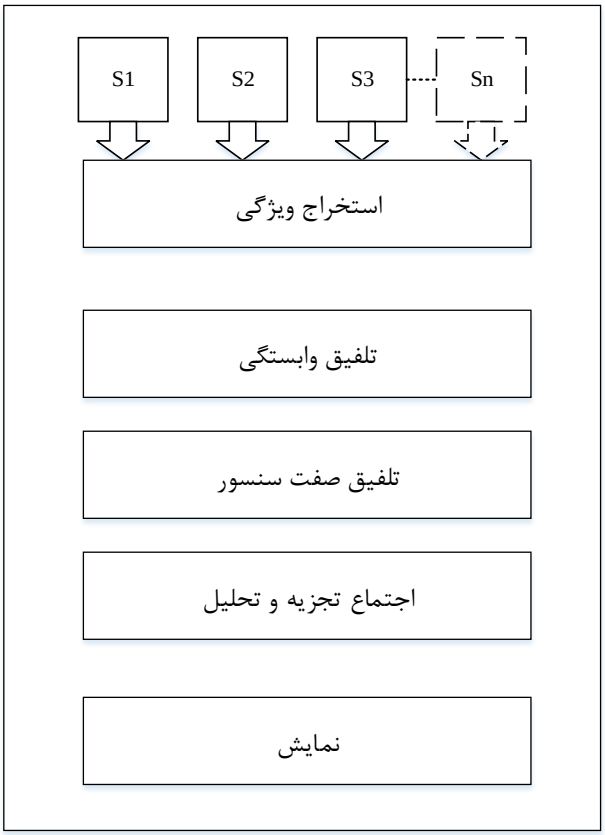
4-2-3. معماری Pau

این معماری که در سال 1988 ارائه شده است یک معماری سلسله‌مراتبی است که مدلی برای تلفیق‌داده مبتنی بر دانش رفتاری ارائه می‌کند[42]. این مدل به‌جای معماری تخته سیاه که در سیستم‌های مبتنی بر دانش دیده می‌شود، از روش سلسله‌مراتبی شامل سه سطح نمایشی تشکیل شده است. در پایین‌ترین سطح، برای هر سنسور یک فضای‌برداری با ابعاد هماهنگ و پارامترهای اندازه‌گیری شده وجود دارد. سطح بعد، ویژگی‌های مناسب از این بردارها را استخراج کرده و برچسب‌هایی را به آن‌ها متصل می‌کند. سطح سوم شامل روابطی است که بردارهای ویژگی را به رخدادها ارتباط داده و مدل محیط را مشخص می‌کند. در مدل شکل 22، ابتدا یک بردار ویژگی از داده خام استخراج می‌شود. سپس این بردار همتراز و مرتبط با ویژگی‌های تعریف شده می‌شود. تلفیق در سطوح صفت سنسور و تحلیل داده انجام می‌شود. فاز پایانی از یکسری قوانین رفتاری ساخته شده است که می‌تواند برحسب نمایش نهایی خروجی ترکیبی استخراج شود. شکل 22 این

[1] Luo and Kay

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

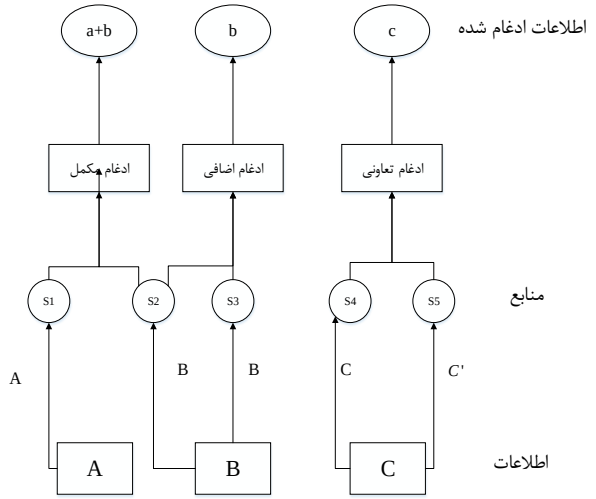
معماری را که در آن مراحل مختلف تلفیق‌داده نشان داده شده است نمایش می‌دهد.



شکل 22. معماری ترکیب Pau

4-2-4. معماری Durrant-Whyte

Durrant-Whyte در سال 1988 معماری‌ای را ارائه نمود که مشخصه اصلی آن استفاده از یک فرمت نمایشی مشترک است. داده بدست آمده از همه سنسورها به این فرمت تبدیل شده و به‌وسیله یک مدل تلفیقی سطح بالا ترکیب می‌شود. هر سنسور خودش عمل تبدیل را انجام می‌دهد. شکل 23 این معماری را نمایش می‌دهد[43].



شکل 23. معماری تلفیق‌داده Durrant-Whyte

5-2-4. معماری LAAS

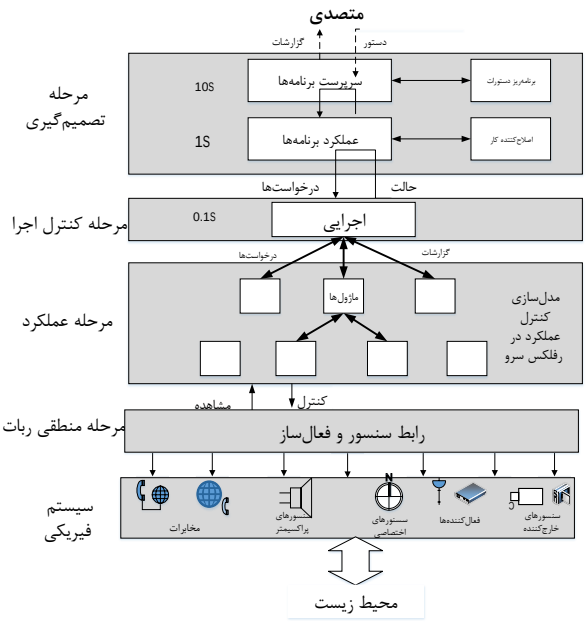
این معماری به‌عنوان یک معماری مجتمع برای طراحی و پیاده‌سازی ربات‌های متحرک به صورت زمان واقعی توسعه داده شده است. معماری LAAS[1] ترکیب سنسوری سطح پایین و میانی را برای ماژول‌بندی سطح عملکردی طرح‌ریزی می‌کند. در این معماری تلفیق سنسوری سطح بالا در سطح تصمیم نمایش داده شده است[44]. معماری LAAS شامل سطوح زیر است:

- سطح ربات منطقی: کار این سطح برقراری ارتباط سخت افزاری بین سنسورهای فیزیکی و سطح عملکردی است.
- سطح عملکردی: این سطح شامل قابلیت‌های مفهومی و عملی ربات ساخته شده می‌شود.
- سطح کنترل اجرا: این سطح اجرای توابع توسط ماژول‌های مرتبط با نیازهای کار را هماهنگ می‌کند.
- سطح تصمیم: این سطح شامل قابلیت‌های تولید برنامه کار و نظارت بر اجرای آن می‌شود.

این معماری ابزار مناسبی برای تقسیم‌بندی سیستم‌های بزرگ به ماژول‌ها است. شکل 24 مفاهیم عملی این معماری را تشریح می‌کند.

[1] Laboratory Analysis Architecture Systems

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]



شکل 24. معماری LAAS

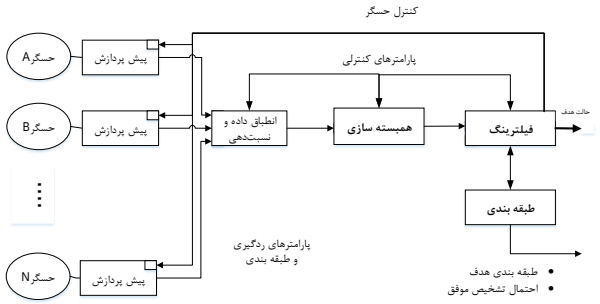
4-2-6. معماری تلفیق‌داده محلی

یکی از موضوعات مهم در توسعه یک سیستم تلفیق‌داده چندسنسوری نحوه انجام تلفیق در روند گردش داده است. در مرجع[46]-[45] دو حالت برای تلفیق سطح 1 مدل JDL بیان شده است. (1) تلفیق‌داده محلی مانند دامنه، سمت و ارتفاع مشاهده شده برای تعیین موقعیت و سرعت یک شیء در حال حرکت، (2) تلفیق‌داده پارامتری مانند طیف مادون قرمز و رادار برای تعیین هویت یک شیء مشاهده شده. در تبیین حالت اول می‌توان به سه روش تلفیق‌داده خام، تلفیق بردارهای حالت و تلفیق ترکیبی برای تلفیق‌داده محلی[1] به‌منظور تعیین موقعیت و سرعت شیء اشاره کرد. بر این اساس سه معماری متمرکز[2]، خودمختار[3] و ترکیبی[4] برای تلفیق‌داده محلی پیشنهاد شده است.

4-2-6-1. معماری Centralized

شکل 25 نمونه‌ای از معماری تلفیق‌داده محلی به‌نام معماری متمرکز را نشان می‌دهد[46]-[45].

[1] Local Data Fusion
[2] Centralized
[3] Autonomous
[4] Hybrid



شکل 25. معماری تلفیق متمرکز

داده‌های مختلف از هر سنسور که دارای واحدها و مختصات خاص آن سنسور هستند بعد از جمع‌آوری، به واحدها و مختصات یکسان و سازگار برای پردازش مرکزی تبدیل می‌شوند. سپس در مرحله وابستگی و همبستگی، اندازه-گیری شباهت بین داده‌ها انجام می‌پذیرد. در حقیقت در مرحله وابستگی تعیین می‌شود که آیا شباهت بین دو داده براساس یک معیار آستانه‌گونه وجود دارد یا خیر. در این معماری تلفیق‌داده با استفاده از تکنیک‌های تخمین متوالی مانند فیلترهای کالمن انجام می‌شود. روش تلفیق متمرکز از نظر تئوری دقیق‌ترین روش در تلفیق‌داده است.

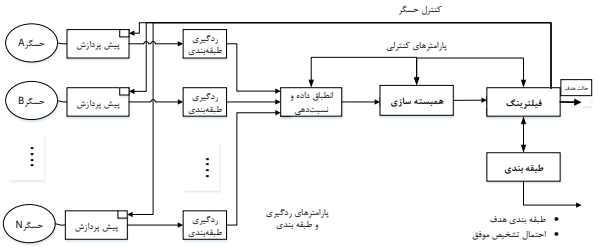
4-2-6-2. معماری Autonomous

معماری دوم برای تلفیق محلی، تلفیق توزیع‌شده یا خودمختار نام دارد. در این تلفیق، هر سنسور با تولید یک بردار حالت، موقعیت و سرعت شیء را مبتنی بر داده به‌دست آمده از آن سنسور تخمین می‌زند. این تخمین‌ها از موقعیت و سرعت به عنوان ورودی به یک فرآیند تلفیق‌داده وارد می‌شوند تا به یک بردار حالت ترکیبی یا مشترک مبتنی بر چندین سنسور برسند.

معماری‌های تلفیق توزیع‌شده ارتباطات بین سنسورها و پردازنده تلفیق را کاهش می‌دهند. دلیل این امر این است که داده سنسورها به یک بردار حالت فشرده می‌شود. ضمن اینکه فرآیند وابستگی و همبستگی در سطح بردار حالت آسان‌تر از تلفیق سطح داده است. فرآیند تلفیق بردار حالت در این روش از دقت کمتری نسبت به روش تلفیق سطح داده در روش متمرکز برخوردار است و دلیل آن از دست دادن اطلاعات در انتقال بین سنسورها و فرآیند تلفیق می‌باشد. به‌ویژه اینکه داده اصلی شامل اطلاعاتی درباره کیفیت سیگنال است که در این

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

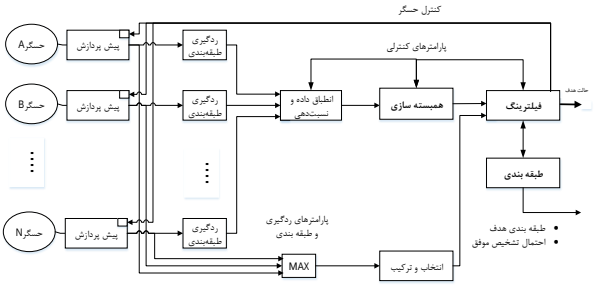
روش تنها به وسیله بردار حالت و ماتریس کواریانس مرتبط با آن تقریب زده می‌شود. شکل 26 این تلفیق را نشان می‌دهد[46]-[45].



شکل 26. معماری تلفیق خودمختار

4-2-6-3. معماری Hybrid

معماری سوم برای تلفیق‌داده محلی شامل ادغام تلفیق سطح داده و تلفیق بردار حالت می‌باشد. در این روش و در خلال عملیات عادی، ترکیب بردار حالت به‌منظور کاهش بار کاری محاسباتی و تقاضاهای ارتباطاتی انجام می‌شود. تحت شرایط خاص مثلاً هنگامی‌که دقت بیشتر مورد نیاز است این معماری انعطاف‌پذیری بیشتری ایجاد می‌کند. این معماری همچنین به یک خبره انسانی برای نظارت بر فرآیند تلفیق و انتخاب بین تلفیق‌داده و بردار حالت نیاز دارد. شکل 27 این معماری تلفیق را نشان می‌دهد[46]-[45].



شکل 27. معماری تلفیق ترکیبی

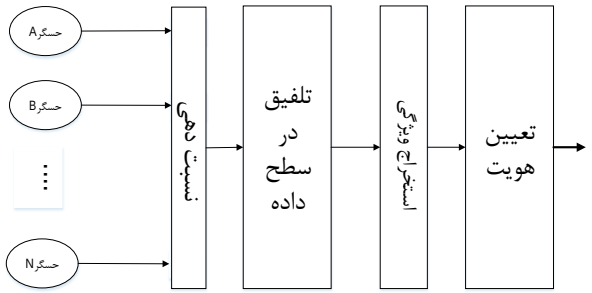
نحوه انتخاب از میان سه معماری تلفیق‌داده محلی بیان شده به‌مسئله مهندسی سیستم برمی‌گردد. در کاربردهای تلفیق‌داده، هیچ معماری مطلوبی وجود ندارد و انتخاب معماری به منابع محاسباتی، پهنای باند ارتباطی موجود، دقت مورد نظر، قابلیت‌های سنسورها و برآورد مالی انجام شده بستگی دارد.

4-2-7. معماری تلفیق‌داده پارامتری

وضعیت دوم تلفیق در سطح یک مدل JDL تلفیق هویت نامیده می‌شود. در حقیقت در این تلفیق از داده‌های پارامتری به‌دست آمده از سنسورهای مختلف مانند رادار، طیف مادون قرمز و غیره، برای تعیین هویت یک شیء مشاهده شده استفاده می‌شود. در این تلفیق، صفات هدف مشاهده شده از چندین سنسور به یک بیان مشترک از هویت هدف تبدیل می‌شوند. معماری‌های مختلفی برای تلفیق‌داده پارامتری[1] وجود دارند. برخی از این معماری‌ها عبارتند از تلفیق سطح داده، تلفیق سطح ویژگی و تلفیق سطح تصمیم که در زیر معرفی می‌گردند.

4-2-7-1. معماری تلفیق سطح داده

در این معماری تلفیق سطح داده انجام می‌شود. هر سنسور یک شیء را مشاهده کرده و داده خام سنسورها با هم ترکیب می‌شوند. سپس فرآیند اعلان هویت انجام می‌شود. در این فرآیند ضمن استخراج بردار ویژگی از داده بدست آمده از تلفیق‌داده سنسورها، یک تبدیل میان این بردار و اعلان هویت انجام می‌شود. روش‌هایی که برای اعلان هویت مبتنی بر ویژگی وجود دارند عبارتند از: شبکه‌های عصبی، روش‌های قالب و روش‌های تشخیص الگو مانند الگوریتم‌های خوشه ای. برای تلفیق‌داده‌های خام، داده‌های سنسور اصلی باید متناسب با هم بوده و قادر باشند تا به‌طور صحیح به‌یکدیگر مرتبط شوند. در مقایسه با تلفیق‌داده محلی، تلفیق هویت داده‌های خام با فرض دارا بودن فرآیند همسطح‌سازی و وابستگی صحیح، دقیق‌ترین نتایج را فراهم می‌نماید. شکل 28 این معماری را نشان می‌دهد[46]-[45].



شکل 28. معماری تلفیق پارامتری سطح داده

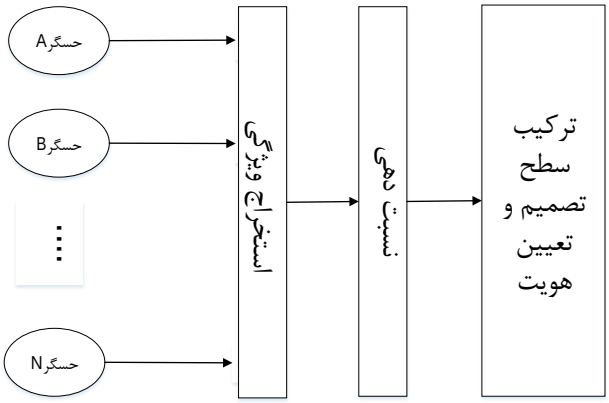
4-2-7-2. معماری تلفیق سطح ویژگی

در این معماری هرسنسور با کمک داده‌های مشاهده‌ای، یک بردار ویژگی استخراج می‌کند. این ویژگی باعث ایجاد یک

[1] Parametric Data Fusion

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

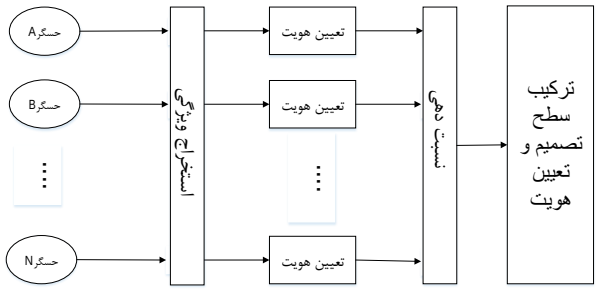
بردار ویژگی برای ورود به اعلان هویت می‌شود. در مرحله اعلان هویت از تکنیک‌های شبکه عصبی یا الگوریتم خوشه‌ای استفاده می‌شود. خروجی این معماری یک اعلان مشترک از هویت هدف مبتنی بر تلفیق بردارهای ویژگی همه سنسورها می‌باشد. در این معماری توابع همسطح‌سازی، وابستگی و همبستگی باید قبل از اتصال بردارهای ویژگی به یک بردار بزرگ‌تر، انجام شوند. شکل 29 این معماری را نشان می‌دهد[46]-[45].



شکل 29. معماری تلفیق پارامتری سطح ویژگی

4-2-7-3. معماری تلفیق سطح تصمیم

در این معماری هر سنسور فرآیند اعلان هویت را براساس داده تک منبع خودش انجام می‌دهد. این سنسورها صفات هدف مشاهده شده را به یک اعلان اولیه از هویت هدف تبدیل می‌کند. این مسئله می‌تواند توسط روش‌های استخراج ویژگی یا اعلان هویت مانند شبکه‌های عصبی یا تکنیک‌های تشخیص الگوی مبتنی بر ویژگی انجام شود. در این معماری اعلان هویت‌هایی که توسط هر سنسور به‌طور مجزا فراهم می‌شود با استفاده از تکنیک‌های تلفیق سطح تصمیم مانند استنتاج کلاسیک، استنتاج بیزین، روش‌های تصمیم‌گیری وزن‌دار یا روش دمپستر شافر ترکیب می‌شوند. شکل 30 این معماری را نشان می‌دهد[46]-[45].

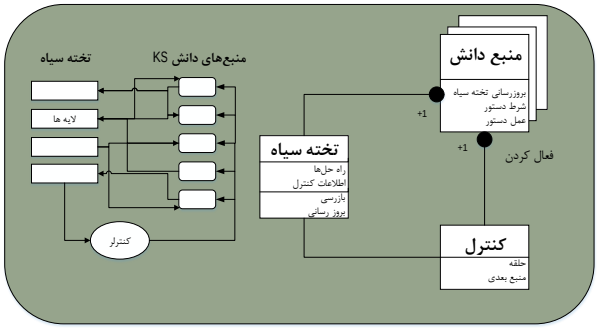


شکل 30. معماری تلفیق پارامتری سطح تصمیم

4-2-8. معماری تخته سیاه

تفسیر و توضیح داده‌های تلفیق شده در سطوح ارزیابی موقعیت و ارزیابی تهدید مدل JDL، نیازمند یادگیری تکنیک‌های استدلال خودکار می‌باشد. در همین خصوص، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا سیستم‌های خبره به‌منظور توضیح سیستم‌های پردازشی سطح 1، تحلیل موضوعاتی مانند محتوای داده مشاهده شده، ارتباط بین اشیاء مشاهده‌شده، گروه‌بندی سلسله‌مراتبی اهداف یا اشیاء و پیش بینی آینده اشیاء یا اهداف، توسعه داده شده‌اند. چنین استدلالی به‌طور طبیعی توسط انسان انجام می‌شود.

یکی از روش‌های غالباً کاربردی برای تلفیق‌داده سیستم‌های مبتنی بر دانش، معماری تخته‌سیاه[1] می‌باشد[47]. این معماری مسئله را به زیرمسئله‌های مرتبط تقسیم کرده و از تکنیک‌های استدلال فعل و انفعالی برای حل جزء مسئله‌ها استفاده می‌کند. همچنین با تلفیق نتایج به‌دست آمده برای هر زیرمسئله، یک حل تکامل‌یافته بدست می‌دهد. این امر مشابه این است که افراد خبره ممکن است دور یک تخته‌سیاه جمع شوند و یک مسئله را حل کنند. یک مثال از معماری تخته سیاه در شکل 31 نشان داده شده است.



[1] Blackboard Architecture

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

شکل 31. معماری تخته سیاه برای پردازش ترکیب سطح تصمیم

در استفاده از تکنیک سیستم‌های مبتنی بر دانش، سه عنصر نیاز است. 1- برنامه نمایش دانش، 2- فرآیند ارزیابی/ استنتاج خودکار و 3- برنامه کنترل. برنامه نمایش دانش تکنیک‌هایی برای نمایش وقایع، ارتباطات منطقی، دانش رویه‌ای و عدم قطعیت است[60]-[54]. تکنیک‌های زیادی برای نمایش دانش توسعه داده شده‌اند. که از آن جمله می‌توان به تولید قوانین، قالب‌ها و غیره اشاره نمود. برای هرکدام از این تکنیک‌ها، عدم‌قطعیت در داده مشاهده شده و ارتباطات منطقی می‌تواند با استفاده از احتمال، تئوری مجموعه فازی، فواصل آشکار دمپستر شافر یا روش‌های دیگر نمایش داده شود. هدف از ساخت سیستم استدلال خودکار، دریافت قابلیت استدلال یک فرد خبره و نمایش آن است.

مبتنی بر دانش داده شده، یک فرآیند استنتاج یا ارزیابی باید برای استفاده از آن دانش توسعه یابد. برای مثال منطق فازی، استدلال احتمالاتی، روش‌های قالب، استدلال مبتنی بر نمونه و تعداد زیادی از تکنیک‌های دیگر بدین منظور وجود دارند.

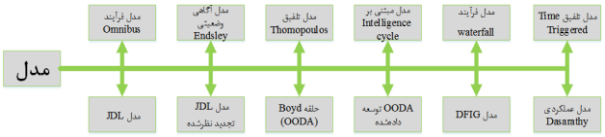
استدلال خودکار به یک برنامه کنترل نیاز دارد تا فرآیند استدلال را پیاده‌سازی کند. تکنیک‌هایی مانند روش‌های جستجو، تئوری کنترل، تجزیه سلسله مراتبی و غیره از جمله این برنامه کنترلی هستند. هر کدام از این برنامه‌ها شامل فرضیات و یک رهیافت برای کنترل فرآیند استدلال تکاملی می‌شود. برنامه‌های کنترل، جستجو را از طریق دانش برای اکتشاف و تلفیق‌داده پویا و چندسنسوری هدایت می‌کنند. تلفیق برنامه نمایش دانش، فرآیند ارزیابی/ استنتاج و برنامه کنترل برای رسیدن به استدلال خودکار استفاده می‌شوند. تکنیک‌های مشهور در این زمینه شامل سیستم‌های دانشی مبتنی بر قوانین و تکنیک‌های مبتنی بر قوانین فازی است[49].

5. مقایسه مدل‌ها و معماری‌های تلفیق‌داده

5-1. مقایسه مدل‌های تلفیق‌داده

در این مقاله، 12 مدل مختلف تلفیق‌داده در شبکه‌های چندسنسوری که می‌توانند مورد استفاده در سامانه‌های C4I قرار گیرند معرفی شدند. در این بخش ضمن ارائه مقایسه‌ای بین این مدل‌ها، مزایا و معایب هر یک از آن‌ها تبیین می‌شود.

شکل 32 دیاگرام مدل‌های ارائه شده در این مقاله را نمایش می‌دهد.



شکل 32. دیاگرام مدل‌های ارائه شده

مدل‌های تلفیق‌داده بر مبنای تمایز قائل شدن بین سطوح مختلف انتزاع، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. مدل Waterfall شامل مناسب‌ترین تمایز بین سطوح پایین‌تر انتزاع است؛ اما فقدان فیدبک در جریان داده داخل این مدل یکی از اشکالات آن به‌شمار می‌آید. مدل‌های JDL و Boyd شامل مناسب‌ترین تمایز به‌ترتیب در سطح میانی و سطوح بالاتر انتزاع می‌باشند، اما مدل حلقه هوشمند همه سطوح انتزاع را پوشش داده و تا اندازه‌ای جزئیات فشرده شده‌ای را بیان می‌کند. مدل JDL برای سیستم‌های تلفیق بسیار مشهور است؛ به گونه‌ای که این مدل برای کاربردهای نظامی و تجاری استفاده می‌شود. مدل JDL دارای اشکالات زیر است[21]:

1) مدل JDL یک مدل مبتنی بر داده یا اطلاعات است. این امر توسعه و استفاده از این مدل برای ساخت برخی از کاربردها را مشکل می‌سازد.
2) مدل JDL خیلی انتزاعی است. این مسئله استفاده از مدل JDL را برای تفسیر صحیح بخش‌های مختلف آن و بکارگیری مناسب آن برای مسائل خاص مشکل می‌سازد.
3) مدل JDL برای درک معمولی مفید است اما توسعه‌دهنده‌ها را در شناسایی روش‌هایی که باید استفاده شوند راهنمایی نمی‌کند. این مسئله موجب می‌شود تا نتوان از مدل JDL برای توسعه یک معماری برای سیستم واقعی کمک گرفت.

مدل داساراتی مبتنی بر توابع تلفیق است و به هر کدام از فعالیت‌های تلفیق ملحق می‌شود؛ اما مدل Omnibus ترکیبی از سه مدل بوید، داساراتی و Waterfall است که با در نظر گرفتن نقاط قوت و ضعف مدل‌های موجود طراحی شده است. این مدل برخلاف مدل JDL، ترتیب پردازش‌ها را مشخص کرده و طبیعت چرخه را صریح می‌سازد. این مدل فقط برای

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

کاربردهای دفاعی استفاده نمی‌شود بلکه می‌توان برای کاربردهای دیگر نیز از آن بهره برد. این مدل ساختار چرخه‌ای قابل مقایسه با حلقه بوید را ارائه می‌دهد اما مدل Omnibus یک ساختار مناسب‌تری از سطوح پردازشی را فراهم می‌کند.

اشکال عمده مدل بوید فقدان یک ساختار مناسب برای شناسایی و جداسازی کارهای تلفیق‌داده‌های سنسوری مختلف است. در [21] مقایسه‌ای بین مراحل موجود در حلقه بوید با مدل JDL و حلقه هوشمند ارائه شده است. بر این اساس فاز مشاهده به‌طور وسیعی با سطح صفر مدل JDL و بخشی از فاز 1 مدل حلقه هوشمند قابل مقایسه است. در فاز گرایش، توابع سطح 1، 2 و 3 مدل JDL و عناصر ساختاریافته فاز 1 و 2 مدل حلقه هوشمند وجود دارند. فاز تصمیم، سطح 4 مدل JDL و گام 4 مدل حلقه هوشمند را دربرمی‌گیرد. جدول 3 مقایسه بین سطوح پردازشی چهار مدل مرسوم تلفیق‌داده را براساس فعالیت در اکتساب سنسور، پردازش سیگنال، پردازش اطلاعات، ارزیابی‌وضعیت، ارزیابی تهدید، فرآیند تصمیم‌سازی و اجرای فرمان نمایش می‌دهد.

جدول 3. مقایسه چهار مدل مرسوم تلفیق‌داده

فعالیتی که انجام می‌شود	مدل آبشاری	مدل JDL	حلقه Boyd	چرخه هوشمند
اجرای فرمان			عمل	انتشار
فرآیند تصمیم گیری	تصمیم گیری	مرحله 4	تصمیم	
ارزیابی تهدید		مرحله 3	گرایش	ارزیابی
ارزیابی وضعیت	ارزیابی وضعیت	مرحله 2		
پردازش اطلاعات	پردازش الگو	مرحله 1		تلفیق
	استخراج ویژگی			
پردازش سیگنال	پردازش سیگنال	مرحله 0	مشاهده	جمع آوری
کسب منبع / سنسور	سنجش			

با مقایسه مدل OODA توسعه‌یافته با برخی از مدل‌های توصیف شده در بالا، می‌توان به سازگاری آن با مدل OODA در سطح تصمیم اشاره نمود. همچنین در مدل OODA توسعه‌یافته، حلقه بین تصمیم‌سازی و محیط آن بسته می‌شود. از طرفی این مدل با افزایش سطح انتزاع برای پردازش داده‌ها در هر سطح مدل JDL سازگار است. این مدل به سطح 4 مدل JDL امکان می‌دهد تا روی همه فازهای تصمیم‌سازی عمل نماید. این مدل همچنین قابلیت حلقه داخل حلقه را همانند مدل Omnibus فراهم می‌آورد. مدل Time-Triggered برخلاف سایر مدل‌های انتزاعی موجود، برای مدل‌سازی سیستم‌های زمان حقیقی پیچیده به همراه اکتساب داده، ترکیب پردازش و کنترل تصمیم‌ها استفاده می‌شود. این مدل دربرگیرنده ویژگی‌هایی مانند پردازش حلقه‌ای، طراحی قابل ساخت و واسطهای مناسب بین زیرسیستم‌های آن می‌باشد. مدل DFIG به منظور توسعه سطح 5 مدل JDL و با هدف جداسازی ترکیب اطلاعات از توابع مدیریت طراحی شده است. در این مدل اهمیت موضوع ترکیب اطلاعات برای استدلال ارزیابی موقعیت و نمایش دانش شامل سه مرحله می‌شود. (1) طراحی برای کاربران، (2) حمایت از تصمیم-سازی پویا و (3) دستورالعمل‌های رابط برای حمایت از اعتماد کاربر از طریق معیارهای کیفیت خدمات ترکیب اطلاعات. جدول 4 یک مقایسه کلی از مدل‌های تلفیق‌داده که در بخش-های قبلی تشریح شده‌اند را نمایش می‌دهد.

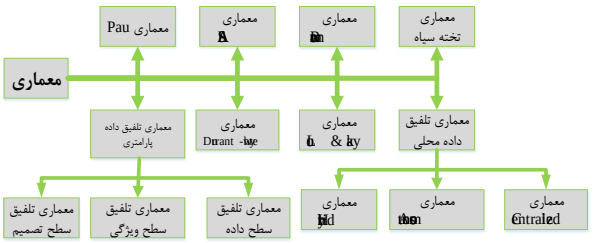
جدول 4. مقایسه کلی مدل‌های تلفیق‌داده

ردیف	نوع مدل	خصوصیات مدل
1	Omnibus	ارائه یک ساختار مناسب از سطوح پردازشی
2	JDL	مناسب‌ترین تمایز در سطوح میانی انتزاع را دارد.
3	Endsley	اجازه تصمیم‌سازی می‌دهد/ مدل کردن آگاهی وضعیتی
4	Intelligence-Cycle	همه سطوح انتزاع را پوشش داده و جزئیات فشرده شده‌ای را بیان می‌کند.
5	Waterfall	دارای مناسب‌ترین تمایز بین سطوح پایین‌تر انتزاع است.
6	Time- Triggered	برای مدل‌سازی سیستم‌های زمان حقیقی پیچیده استفاده می‌شود.
7	Revised JDL	توجه به مسائل تلفیق چندتصویری و پشتیبانی از سنسورهای چندبخشی
8	Thomopolous	یکنواختی/ اعمال در محیط‌های پیچیده/ مقاوم در برابر عدم‌قطعیت‌های گوناگون
9	DFIG	توسعه سطح 5 مدل JDL و جداسازی ترکیب اطلاعات از توابع مدیریت.
10	Boyd (OODA)	مناسب‌ترین تمایز در سطوح بالاتر انتزاع را دارد.
11	Extended OODA	مناسب برای پردازش داده‌ها در هر سطح پردازشی
12	Dasarathy	مناسب برای تلفیق‌داده برحسب نوع سطح داده در ورودی و خروجی

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

2-5. مقایسه معماری‌های تلفیق‌داده

معماری‌های مختلف تلفیق‌داده به دو دسته کلی معماری-های عمومی و معماری‌های سخت تقسیم‌بندی می‌شوند. معماری عمومی نحوه پیاده‌سازی یک کاربرد را بیان می‌کند اما درباره چگونگی استفاده از سیستم‌عامل، سخت‌افزار، سیستم ارتباطی و پایگاه‌داده توضیحی ارائه نمی‌دهد. سیستم‌های مبتنی بر معماری سخت، مهندسین را برای اجرای آن به‌خوبی راهنمایی می‌کند. معماری [illegible] نمونه‌ای از این معماری سخت به‌شمار می‌آید. در این مقاله، 14 معماری مختلف تلفیق‌داده مورد استفاده در سامانه‌های [illegible] معرفی و مورد بررسی قرار گرفتند. در این بخش ضمن ارائه مقایسه‌ای بین این معماری‌ها، مزایا و معایب هر یک از آن‌ها تبیین می‌شود. شکل 33 دیاگرام معماری‌های ارائه شده در این مقاله که در بخش قبلی به تفصیل بیان شده‌اند را نمایش می‌دهد.



شکل 33. دیاگرام معماری‌های ارائه شده

معماری [illegible] تلفیق سنسوری سطح پایین و میانی را برای ماژول‌بندی سیستم برنامه‌ریزی می‌کند. در این معماری، تلفیق‌داده سنسوری سطح بالا در سطح تصمیم نمایش داده شده است. معماری [illegible] برای تقسیم‌بندی سیستم‌های بزرگ به ماژول‌ها مناسب است، اما نمی‌تواند یک ارتباط زمان واقعی مناسب و نمایشی از داده تلفیق شده در سطوح بالای سطح تابعی را فراهم نماید.

در معماری [illegible] و [illegible] تمایز آشکاری بین ادغام چندسنسوری و تلفیق چندسنسوری به وجود آمده است. در این معماری داده جمع‌آوری شده در سطح سنسور به مراکز تلفیق برای اجرای عملیات به‌شیوه سلسله مراتبی انتقال می‌یابد. جدول 3 مقایسه‌ای بین سطوح مختلف تلفیق که توسط این معماری نمایش داده شده است را نشان می‌دهد.

جدول 3. مقایسه سطوح مختلف تلفیق در مدل Luo and Kay

مشخصات	سطح سیگنال	سطح پیکسل	سطح ویژگی	سطح سمبل یا نماد
نمایش سطح اطلاعات	پایین	پایین	متوسط	بالا
نوع اطلاعات حسی	سیگنال چند بعدی	تصاویر متعدد	ویژگی استخراج شده از سیگنال‌ها/تصاویر	منطق تصمیم از سیگنال‌ها/تصاویر
مدل اطلاعات حسی	متغیر تصادفی به همراه نویز	فرآیند تصادفی در میان پیکسل	شکل تغییر ناپذیر ویژگی‌ها	سمبل به همراه درجه از عدم قطعیت

در معماری Pau به‌جای معماری تخته‌سیاه که در سیستم-های مبتنی بر دانش دیده می‌شود، از روش سلسله‌مراتبی برای تلفیق‌داده استفاده می‌شود.

الگوریتم‌های مورد استفاده در کاربردهای دریایی در حیطه نظامی، معمولاً از معماری باز دریایی (تلفیق داده محلی) استفاده می‌کنند. این معماری یک استراتژی فنی برای تولید و نگهداری از سیستم‌های قابل تعمیمی است که اصول و ساختار طراحی سیستم‌های باز را اتخاذ می‌کنند. معماری باز دریایی، خود به سه دسته معماری متمرکز، خودمختار و ترکیبی تقسیم می‌شود. معماری متمرکز ([illegible]) از نظر تئوری دقیق-ترین روش در تلفیق‌داده است. در این معماری داده‌های قابل مشاهده خام از قبیل اطلاعات محلی، از هر سنسور با یکدیگر ترکیب می‌شود. معماری خودمختار ([illegible]) برای تلفیق محلی از بردارهای حالت استفاده می‌کند. در این تلفیق، هر سنسور با تولید یک بردار حالت، موقعیت و سرعت شیء را مبتنی بر داده به‌دست آمده از آن سنسور تخمین می‌زند. شباهت این دو معماری در وجود و اجرای توابع تنظیم داده، وابستگی و همبستگی در آن دو است؛ با این تفاوت که این توابع در معماری متمرکز در سطح داده و در روش خودمختار در سطح بردار حالت انجام می‌شوند. معماری خودمختار برخلاف معماری متمرکز ارتباطات بین سنسورها و پردازنده تلفیق را کاهش می‌دهد. بنابراین بار کاری محاسباتی و تقاضای ارتباطی کاهش می‌یابد. فرآیند تلفیق بردار حالت در این روش از دقت کمتری نسبت به روش تلفیق سطح داده در روش متمرکز، برخوردار است و دلیل آن از دست دادن اطلاعات در انتقال بین سنسورها و فرآیند تلفیق می‌باشد.

معماری ترکیبی([illegible]) نسبت به دو معماری اول دارای انعطاف‌پذیری بیشتری است. در کاربردهای تلفیق‌داده، هیچ معماری مطلوب واحدی وجود ندارد. انتخاب معماری باید میان منابع محاسباتی، پهنای باند ارتباطی و غیره تعادل برقرار نماید. معماری تلفیق هویت داده‌های خام، با فرض دارا بودن

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

فرآیند همسطح سازی و وابستگی صحیح، دقیق‌ترین نتایج را در مقایسه با تلفیق‌داده محلی فراهم می‌نماید. در معماری سیستم‌های مبتنی بر دانش از تکنیک‌های استدلال خودکار استفاده می‌شود. در همین خصوص، سیستم‌های مبتنی بر دانش یا معماری تخته‌سیاه به‌منظور توضیح سیستم‌های پردازشی سطح یک، تحلیل موضوعاتی مانند محتوای داده مشاهده شده، ارتباط بین اشیاء مشاهده شده، گروه‌بندی سلسله‌مراتبی اهداف یا اشیاء و تخمین آینده اشیاء یا اهداف، توسعه داده شده‌اند. جدول 5 مقایسه کلی معماری‌های تلفیق‌داده را بیان می‌کند.

جدول 5. مقایسه کلی معماری‌های تلفیق‌داده

ردیف	نوع معماری	خصوصیات معماری
1	Pau	کاربرد متوسط/ انعطاف پذیری متوسط/ دقت متوسط
2	LAAS	کاربرد کم/ مناسب برای استفاده در سیستم‌های بلادرنگ
3	Luo & Kay	کاربرد زیاد
4	Durrant-Whyte	کاربرد کم/ انعطاف پذیری کم/ سادگی طراحی/ نیاز به یک مدل سنسور برای تلفیق
5	Bawman	کاربرد کم/ انعطاف پذیری کم
6	Blackboard	مفید برای تفکیک سیستم‌های مبتنی بردانش
7	Local Data Fusion	تعیین موقعیت و سرعت یک شیء در حال حرکت
8	Parametric Data Fusion	تعیین هویت یک شیء مشاهده شده در حال حرکت

6. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

مدل‌ها و معماری‌های تلفیق‌داده در شبکه‌های چندسنسوری به‌شدت به کاربرد وابسته‌اند و هیچ مدل و معماری پذیرفته شده واحدی در این شبکه‌ها وجود ندارد. این‌گونه ترکیب موفق‌آمیز داده‌ها و اطلاعات، به‌وسیله مدل‌ها و معماری‌های گوناگونی انجام می‌شود که از سوی متخصصین جهت تلفیق‌داده شبکه‌های چندسنسوری به‌منظور پیاده‌سازی در کاربردهای گوناگون نظامی و غیرنظامی سامانه C4I ارائه شده است. در این سامانه، با توجه به حجم بالا و اهمیت سرعت پردازش و تبادل اطلاعات، استفاده از فناوری تلفیق داده به‌منظور افزایش دقت و قابلیت اطمینان در خروجی ناشی از چرخه عملیاتی هر یک از مدل‌ها و معماری‌های تلفیق داده، امری ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله، انواع مدل‌ها و معماری‌های مختلف تلفیق‌داده برای ارزیابی تهدید در سامانه C4I، ویژگی‌ها، کاربردها و تشریح عملکرد آن‌ها ارائه گردید و مقایسه کاملی بین این مدل‌ها و معماری‌ها از منظر شاخص‌هایی مانند: ارائه یک ساختار مناسب از سطوح پردازشی، ایجاد تمایز بین سطوح مختلف انتزاع، مقاومت در برابر عدم قطعیت‌های گوناگون، انعطاف‌پذیری و دقت در خروجی و سادگی طراحی انجام شد. شناخت این مدل‌ها و معماری‌ها و چالش‌های مربوط به آن‌ها در مسئله تلفیق داده، زمینه‌ساز برنامه‌ریزی مناسب برای انتخاب یک مدل بهینه و کارآمد جهت ارزیابی تهدید اهداف مختلف زمینی، دریایی و هوایی در شبکه‌های تلفیق داده چندسنسوری در سامانه‌های C4I است.

7. مراجع (References)

[1] C4I System Solutions, (2016), Available: http://www.aselsan.com.tr.

[2] Azak, M., and Bayrak, A. E., (2008), "A new approach for Threat Evaluation and Weapon Assignment problem, hybrid learning with multi-agent coordination", 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences, Turkey.

[3] Zhang, Y., Huang, S., Guo, S., and Zhu, j., (2011), "Multi-sensor Data Fusion for Cyber Security Situation Awareness", 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011), Elsevier, 1029-1034.

[4] Li, B., (2018), "Navigation Risk Assessment Scheme based on Fuzzy Dempster-Shafer Evidence Theory", International Journal of Advanced Robotic Systems, pp. 1–12.

[5] Raikhan, M., Bolat, K., Meiram, Z., and Altynay, O., (2018), "Assessing Information Security Risk With The Fuzzy Set Theory", Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol.96. No 11.

[6] Pan, Y., Zhang, L., Li, Z. W., and Ding, L., (2019), "Improved Fuzzy Bayesian Network-Based Risk Analysis With Interval-Valued Fuzzy Sets and D-S Evidence Theory", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, DOI: 10.1109/TFUZZ.2019.2929024.

[7] Kun, Z., Weiren, K., Peipei, L., Jiao, S., Yu, L., and Jie, Z., (2018), "Assessment and sequencing of air target threat based on intuitionistic fuzzy entropy and dynamic VIKOR", Journal of Systems Engineering and Electronics, pp. 305-310.

[8] Tavana, M., Trevisani, D. A., and Kennedy, D. T., (2014), "A Fuzzy Cyber-Risk Analysis Model for Assessing Attacks on the Availability and Integrity of the Military Command and Control Systems", International Journal of Business Analytics, pp. 21-36.

[9] Yazdi, M., and Kabir, S., (2018), "Fuzzy evidence theory and Bayesian networks for process systems risk analysis", University of Bradford, pp. 57-86.

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

[10] Liang, Y., (2006), "A fuzzy knowledge based system in situation and threat assessment", Journal of Systems Science & Information, 4, pp. 791–802.
[11] Liebhaber, M., and Feher, B., (2002), "Air threat assessment: Research, model, and display guidelines", in Proceedings of the Command and Control Research and Technology Symposium, p. 15.
[12] Hatefi, S. M., Basiri, M. E., and Tamosaitiene, J., (2019), "An Evidential Model for Environmental Risk Assessment in Projects Using Dempster–Shafer Theory of Evidence", Sustainability, doi: 10.3390/su11226329.
[13] Zhang, H., Xie, J., and Song, Y., (2020), "A novel ranking method for intuitionistic fuzzy set based on information fusion and application to threat assessment, Mathematical and Computer Modeling", Iranian Journal of Fuzzy Systems Vol. 17, Num. 1, pp. 91-104.
[14] Gul, M., and Guneri, A. F., (2016), "A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, pp. 89-100.
[15] Taylan, O., Bafail, A. O., Abdulaal, R. M. S., and Kabli, M. R., (2014), "Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodologies", Applied Soft Computing, pp. 105-116.
[16] Dutta, P., (2018), "Fuzzy-DSS Human Health Risk Assessment under Uncertain Environment", Handbook of Research on Investigations in Artificial Life Research and Development.
[17] Maseleno, A., Hasan, M., Tuah, N., and Tabbu, C. R., (2016), "Fuzzy Logic and Dempster-Shafer Theory to Predict the Risk of Highly Pathogenic Avian Influenza H5n1 Spreading", World Applied Sciences Journal, pp. 995-1003.
[18] Mei, W., (2013), "Air Defense Threat Evaluation using Fuzzy Bayesian Classifier", In Proceedings of the 5th International Joint Conference on Computational Intelligence, pp. 227-232.
[19] Liu, H., Ma, Z., Deng, X., and Jiang, W., (2018), "A new method to air target threat evaluation based on Dempster-Shafer evidence theory", Chinese Control and Decision Conference, DOI: 10.1109/CCDC.2018.8407546.
[20] Shu, Z., (2020), "Target Ship Identification Algorithm Based on Comprehensive Correlation Discriminant and Information Entropy", Journal of Computer and Communications, pp. 61-71.
[21] Elmenreich, W., (2007), "A Review on System Architectures for Sensor Fusion Applications", International Federation for Information Processing, pp. 547-559.
[22] Franklin, E., and White, Jr, (1987), "Data Fusion Lexicon", Joint Directors of Laboratories, Technical Panel for C3, Data Fusion Sub-Panel, Naval Ocean Systems Center, San Diego.
[23] Esteban, J., Starr, A., Willetts, R., Hannah, P., and Bryanston-Cross, P., (2004), "A Review of data fusion models and architectures: towards engineering guidlines".
[24] Thomopoulos, S. C., (1989), "Sensor integration and data fusion", Proc. SPIE 1198, Sensor Fusion II: Human and Machine Strategies, pp 178-191.
[25] Endsley, M, (1996), "Toward a Theory of Situational Awareness in Dynamic Systems", Human Factors Journal, Vol. 37, pp. 32-64.
[26] Dasarathy, B.V., (1994), "Decision Fusion", IEEE Computer Society Press.
[27] Bedworth, M., (1994), "Probability Moderation for Multilevel Information Processing", DRA Technical Report.
[28] Steinberg, A., Bowman, C., and White, F., (1999), "Revisions to the JDL Data Fusion Model", SPIE, Vol. 3719, pp. 430-441.
[29] Bedworth, M., and OBrien, J., (1999), "The Omnibus Model: A New Model of Data Fusion".
[30] Shahbazian, E., Blodgett, D. E., and Labbe, P., (2001), "The Extended OODA Model for Data Fusion Systems", Defence Research and Development Canada.
[31] Elmenreich, W., (2002), "Sensor Fusion in Time-Triggered Systems", PhD Thesis, Technischen Universit¨at Wien.
[32] Blasch, E., and Plano, S., (2005), "DFIG Level 5 (User Refinement) issues supporting Situational Assessment Reasoning", 7th International Conference on Information Fusion, IEEE, USA.
[33] Bolderheij, F., (2007), "Mission driven", PhD Thesis, Netherlands Defence Academy and the Centre for Automation of Mission Critical Systems (CAMS) – Force Vision.
[34] Avison, D. E., and Fitzgerald, G., (1995), "Information Systems Development: Methodologies, Techniques and Tools", 2nd edition. London: McGraw-Hill Book Company, 168 p.
[35] Bedworth, M, (1999), "Source Diversity and Feature-Level Fusion", 1999 Information, Decision and Control. Data and Information Fusion Symposium, Signal Processing and Communications Symposium and Decision and Control Symposium. Proceedings (Cat. No.99EX251), IEEE, Australia.
[36] Sadiq, R., Zargar, A., Shafiqul, M., and Robrta Dyck, R., (2011), "A Review of Data Fusion Methodology & Applications Dose Response & Human Health Risk Assessment", Technical University of Munich, Germany.
[37] Machado, P., (2005), "Multisensor Data Fusion Algorithm for a Data Real-time Process Control for Ntime N-fertilization", Center of Life Sciences Weihenstephan.
[38] Giacobe, N. A., (2010), "Application of the JDL Data Fusion Process Model for Cyber Security", Proc. of SPIE Vol. 7710 77100R-1.
[39] Bowman, C.L., and Murphy, M.S., (1980), "Description of the VERAC N-Source Tracker/Correlator", Naval Res Lab. Report R-010-80.
[40] Bowman, C. L., and Morefield, C. L., (1980), "Multi-sensor Fusion of Target Attributes and Kinematics", 19th IEEE Conference on Decision and Control.
[41] Luo, R., and Kay, M., (1988), "Multisensor integration and fusion: Issues and approaches", SPIE Sensor Fusion, 931: 42-49.
[42] Pau, L. F., (1988), "Sensor data fusion", Journal of Intelligent and Robotic Systems, 1:103-116.
[43] Dasarathy, B., (1997), "Sensor Fusion Potential Exploitation– Innovative Architectures and Illustrative Applications", Proceedings of IEEE, Volume 85, Number 1, pp 24-38.
[44] Llinas, J., and Hall, D. L., (1997), "An introduction to multi-sensor data fusion", Proceedings of the IEEE, Vol. 85, No. 1.
[45] Erhard, A., and McGalliard, S., (2011), "Advances in Military Multi-Sensor Data Fusion Technology and Applications for Civilian Use", Eleventh Annual Freshman Conference.
[46] Ahmed, G., and Farooq, M., (2002), "Data Fusion Architecture for Maritime Surveillance", ISIF.

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]

[54] Ayyub, B. M., and Klir, G. J., (2006), Uncertainty Modeling and Analysis in Engineering and the Sciences, Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group.
[55] Delavar, M. R., and Sadrykia, M., (2020), "Assessment of Enhanced Dempster-Shafer Theory for Uncertainty Modeling in a GIS-Based Seismic Vulnerability Assessment Model, Case Study—Tabriz City", Journal of Geo-Information (isprs), doi: 10.3390/ijgi9040195.
[56] Jamab, A. S., and Araabi, B. N., (2020), "An information-based approach to handle various types of uncertainty in fuzzy bodies of evidence", PLoS ONE, https://doi.org/ 10.1371/journal.pone.0227495.
[57] Unver, S., and Gurbuz, T. (2019), "Threat Evaluation In Air Defense Systems Using Analytic Network Process". Journal of Military and Strategic Studies, 19(4).
[58] Pan, Y., Zhang, L., Li, Z., and Ding, L. (2019), "Improved fuzzy Bayesian network-based risk analysis with interval-valued fuzzy sets and DS evidence theory". IEEE Transactions on Fuzzy Systems.
[59] Xiaoqian, N., Peng, Y., Bingqi, W., Binbin, W., and Chengshuai, G., (2020), "A target threat assessment method for low-altitude aircraft", Journal of Physics: Conference Series, doi:10.1088/1742-6596/1549/5/ 052067.
[60] Qiang, Z., Junhua, H., Jinfu, F., and An, L., (2019), "Air multi-target threat assessment method based on improved GGIFSS", Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 36, no. 5, pp. 4127-4139.
[47] Justin M. B., Ryan A. K., and Jim N. T., (2008), "An Information Fusion Framework for Threat Assessment", Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831-6285.
[48] Valin, P., Bosse, E., and Jouan, A., (2006), "Airborne application of information fusion algorithms to classification", Technical Report TR 2004-282, Defense Research and Development Canada – Valcartier.
[49] Liang, Y., (2007), "An Approximate Reasoning Model for Situation and Threat Assessment", In Proceedings of the 4th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery.
[50] Yang, S.J., Holsopple, J., and Sudit, M., (2006), "Evaluating Threat Assessment for Multi-Stage Cyber Attacks", In Proceedings of the 2006 Military Communications Conference, Washington, DC.
[51] Chinchani, R., Iyer, A., Ngo, H. Q., and Upadhyaya, S., (2005), "Towards a theory of insider threat assessment", In Proceedings of the 2005 International Conference on Dependable Systems and Networks.
[52] Yang, L., Yang, J. H., Feron, E., and Kulkarni, V., (2003), "Development of a performance-based approach for a rear-end collision warning and avoidance system for automobiles", In Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
[53] Castanedo, F., (2013), A Review of Data Fusion Techniques, Hindawi Publishing Corporation the Scientific Journal, 19 pages.

[Downloaded from mail.ic4i-journal.ir on 2026-06-23]