

تلفیق چند سنسور در شبکه های حسگر بدن:

طبق آخرین دستاورد های علمی و چالش های پژوهشی

چکیده

شبکه های حسگر بدن (BSNs) به عنوان یک تکنولوژی، انقلابی در بسیاری از حوزه های کاربردی در زمینه مراقبت های بهداشتی، تناسب اندام، شهر های هوشمند و بسیاری از برنامه های کاربردی اینترنت اشیا (IoT) به وجود آورده است. اکثر سیستم های موجود در بازار فرض می کنند که یک تک دستگاه تعداد زیادی اطلاعات کاربر را نظارت می کند. در واقعیت فناوری BSN انتقال از محیط های اندازه گیری همزمان چندین دستگاه است. تلفیق داده ها از چندین منبع سنسور ناهمگن، به یک کار ضروری تبدیل شده است اما هنوز درک نشده است که به طور مستقیم بر عملکرد برنامه های کاربردی تاثیر می گذارد. با این وجود، به تازگی پژوهشگران شروع به توسعه راه حل های فنی برای تلفیق مؤثر داده های BSN کرده اند. به طور کلی طبق این مطالعه، جامعه در حال حاضر، فاقد بررسی جامع از تکنیک های علمی در تلفیق چند سنسور در حوزه BSN است. این مقاله، انگیزه ها و مزایای تلفیق داده های چند سنسور را روشن می کند و به ویژه در شناسایی فعالیت های فیزیکی، با هدف ارائه یک طبقه بندی سیستماتیک و چارچوب مقایسه کلی از ادبیات، با شناسایی ویژگی های متمایز و پارامترهای موثر بر انتخاب طراحی تلفیق داده ها در سطوح مختلف (داده، ویژگی و تصمیم) تمرکز می کند. این بررسی همچنین تلفیق داده ها در حوزه های شناخت احساسات و سلامت عمومی را نیز شامل می شود و جهت و چالش های مربوط به تحقیقات آینده در تلفیق چند سنسور در حوزه BSN را معرفی می کند.

کلمات کلیدی: تلفیق داده های چند سنسور، تشخیص فعالیت های انسانی، تلفیق سطح داده، تلفیق سطح ویژگی،

تلفیق سطح تصمیم

1. مقدمه

حدود ده سال پیش، حوزه تحقیق در زمینه فناوری های شبکه حسگر بی سیم (WSN) و برنامه های کاربردی به معرفی شبکه های حسگر بدن (BSNs) منجر شد: یک نوع خاص از WSN به نظارت بر بدن انسان اعمال می شود. از زمان تعیین آنها، BSN ها وعده داده بودند که تغییراتی در جنبه های مختلف زندگی روزمره ما ایجاد کند. در سطح تکنولوژیکی، یک BSN پوشیدنی شامل سنسورهای فیزیولوژیکی پوشیدنی بی سیم، اعمال شده به بدن انسان (با استفاده از الکترودهای پوست، تسمه های الاستیک یا حتی با استفاده از پارچه های هوشمند) برای فعال سازی، کاهش هزینه، نظارت غیرتهاجمی لحظه ای و پیوسته به کار می پردازند. برنامه های کاربردی بسیار متنوع BSN در طول سال ها، از جمله پیشگیری، تشخیص زودهنگام و نظارت بر بیماری های قلبی عروقی، مغز و اعصاب و سایر بیماری های مزمن، کمک به سالخوردگان در خانه (تشخیص پرت شدن، یادآوری قرص ها)، مزیت و حسن های کمک به توانبخشی، فعالیت بدنی و تشخیص رفتار و حرکات، تشخیص احساسات، و غیره پیشنهاد شده است.

موفقیت کلیدی این تکنولوژی امکان نظارت بر نشانه های حیاتی و فیزیولوژیکی بدون مانع راحتی کاربر / بیمار در انجام فعالیت های روزمره است. در واقع، در چند سال اخیر، انتشار آن با استفاده از ابزارهای پوشیدنی هوشمند در سطح صنعتی انبوه (به ویژه ساعت های هوشمند و دستبند) افزایش یافته است که می توانند چندین پارامتر مانند شتاب بدن، الکتروکاردیوگرام (ECG)، پالس سرعت، و زیست امپدانس را اندازه گیری کنند.

با این حال، از آنجا که بسیاری از برنامه های کاربردی BSN نیاز به تکنیک های پیشرفته پردازش سیگنال و الگوریتم ها [1-4] دارند، طراحی و پیاده سازی آنها هنوز هم هنوز یک مشکل چالش برانگیز است. جریان داده های حس شده از راه دور با استفاده از دستگاه های پوشیدنی با منابع محدود از لحاظ دسترسی انرژی (باتری)، قدرت محاسباتی و ظرفیت ذخیره سازی (حافظه)، پردازش و فرستاده می شود. علاوه بر این، سیستم های BSN اغلب با داده سنسور

دارای خطا مشخص می شود که بدیهی ست به طور قابل توجهی در پردازش سیگنال، تشخیص الگو و عملکرد یادگیری ماشین تاثیر می گذارد. در این سناریو چالش برانگیز، استفاده از داده های زائد یا مکمل همراه با روش های تلفیق داده ی چند حسگر، یک راه حل مؤثر برای استنباط اطلاعات با کیفیت بالا از سیگنال های به شدت خراب یا نویزی، خطاهای تصادفی و سیستماتیک تحت تأثیر از دست دادن یا ناسازگاری، و...داده ی نمونه های حسگر واقع شده است. اکثر سیستم های موجود در بازار فرض می کنند که یک تک دستگاه تعداد زیادی اطلاعات کاربر را نظارت می کند. در واقعیت فناوری BSN در حال انتقال از محیط های اندازه گیری همزمان چندین دستگاه است. تلفیق داده ها از چندین منبع سنسور ناهمگن، به یک کار ضروری تبدیل شده است اما هنوز درک نشده است که به طور مستقیم بر عملکرد برنامه های کاربردی تاثیر می گذارد. به طور خاص، ما متوجه می شویم که زنجیره پردازش پیچیده ای که در طراحی BSN استفاده می شود، سطوح مختلف تلفیق داده ها را با سطوح مختلف پیچیدگی و کارایی نشان می دهد. تنها در سال های اخیر محققان راه حل های فنی توسعه برای تلفیق مؤثر داده های BSN را آغاز کرده اند. به طور کلی طبق این تحقیق، در حالی که بررسی های جالب در تلفیق سنسور در WSN منتشر شده است [4،5]، در حال حاضر جامعه فاقد یک بررسی کامل از تکنولوژی های پیشرفته در تلفیق چند حسگر در حوزه BSN است.

ساختار مقاله به این ترتیب به شرح زیر است: بخش 2 در مورد پس زمینه ای از بررسی و بینش های مفیدی در مورد انگیزه های اصلی برای تلفیق داده های چند سنسور در BSN ها ارائه می دهد. در بخش 3 یک دسته بندی سیستماتیک از تلفیق چند سنسور در حوزه BSN ارائه شده است؛ خواص متمایز و پارامترها با هدف ارائه یک چارچوب مقایسه مشترک از ادبیات تجزیه و تحلیل شده، شناسایی شده است. بخش 4، تحلیل جامع و مقایسه ای از پیشرفته ترین تلفیق داده ها را در زمینه شناسایی و نظارت بر فعالیت های انسانی پوشش می دهد. برای ارائه دید وسیع تری به خوانندگان، بخش 5 شامل استراتژی های تلفیقی داده ها و انتخاب های طراحی برای شناخت احساسات و برنامه های کاربردی بهداشت عمومی است. بخش 6 بینش هایی را در مورد مسیرهای تحقیق جدید و چالش های نسل بعدی تلفیق چند سنسور ارائه می دهد. سرانجام، بخش 7 مقاله را به پایان می رساند.

2. پیش زمینه

2.1 شبکه های حسگر بدن

شبکه های سنسور بدن (BSNs) به عنوان یک تکنولوژی، انقلابی در بسیاری از حوزه های کاربردی در مراقبت های بهداشتی [7-21] تناسب اندام [22-26]، شهرهای هوشمند [27-29] و بسیاری دیگر از برنامه های کاربردی اینترنت اشیا (IoT) به وجود آورده است [30-33]. به طور خاص، BSN ها پتانسیل زیادی در مراقبت های بهداشتی نشان داده اند. این سیستم ها وعده داده اند که مراقبت / ایمنی بیمار را بهبود بخشد و باعث صرفه جویی در هزینه های قابل توجهی شود [34-37]. به گفته سازمان ملل متحد، اگر روند سلامت جاری تغییری نداشته باشد، پنج بیماری رایج، سرطان، دیابت، بیماری های قلبی، بیماری های ریوی و مشکلات سلامت روانی، جهان تا سال 2030، 47 تریلیون دلار در هر سال هزینه خواهد داشت. [38،39].

یکی از مهم ترین مداخلات (را های درمان) در مدیریت این بیماری، فعالیت بدنی است [40-52]. در نتیجه، دهه گذشته شاهد تلاش های زیادی در استفاده از فن آوری های هوشمند مانند BSN ها برای نظارت و تشخیص سلامت از طریق نظارت / ارزیابی فعالیت های فیزیکی بوده است. سال های اخیر مطالعات قابل توجهی را نشان داده اند که پتانسیل BSN را در برنامه های مختلف نظارت بر فعالیت های فیزیکی نظیر شناسایی فعالیت [9-15، 11-17]، برآورد سطح فعالیت [18]، محاسبه هزینه کالری [20، 19]، برآورد زاویه مشترک [21]، اعلان مبتنی بر فعالیت [53-58]، ارزیابی پایداری دارو (چسبندگی دارو) [60، 59]، سنجش جمعیت [61-66]، شبکه های اجتماعی [67-70]، و تمرین های ورزشی [22-26] داشته است.

یک BSN پوشیدنی شامل تعدادی گره حسگر پوشیدنی است که به طور بی سیم در حال گرفتن و همگام سازی سیگنال های فیزیولوژیکی بر روی انسان را پردازش می کند. BSN ها، که اطلاعاتی را از سنسورهای پوشیدنی بدست می آورند، از الگوریتم های محاسباتی شامل پردازش سیگنال و تکنیک های یادگیری ماشین برای استخراج اطلاعات مفید از داده های حسگر استفاده می کنند. سنسورهای فیزیولوژیکی شامل شتاب سنج، ژيروسکوپ ها، سنسورهای فشار برای حرکات بدن و نیروهای اعمال شده، الکترودهای پوست / قفسه سینه (برای الکتروکاردیوگرام (ECG))،

الکترومیوگرام (EMG)، پاسخ پوستی گالوانیک (GSR) و پلی استیموگرافی امپدانس الکتریکی (EIP)، (PPG) سنسورها، میکروفن ها (برای صدای، محیط و صداهای قلب)، الکترودهای قرار داده شده پوست سر برای الکتروانسفالوگرام (EEG) می باشد. داده های خام و پردازش شده، بی سیم منتقل می شوند؛ پروتکل های ارتباطی به تراشه رادیویی بستر سخت افزاری بستگی دارد. محبوب ترین استانداردها IEEE 802.15.4 [71]، بلوتوث کم مصرف [72] و [73 ANT+] است. گره های BSN را می توان با معماری های سخت افزاری مختلف به دست آورد [74]؛ [75] TelosB در نمونه اولیه تحقیق BSN بسیار رایج بود، در حالی که اخیرا [76] Shimmer محبوبیت بیشتری به دست آورده است. همچنین قابل توجه است که در بسیاری از مطالعات، سخت افزار سفارشی طراحی و ساخته شده است. و بالای نرم افزار برنامه های کاربردی اجرا شده است. در میان آنها، احتمالا [77] TinyOS و Contiki [78] بیشتر حمایت شده است. بعضی از توسعه دهندگان ترجیح می دهند کد برنامه کاربردی را به طور مستقیم بر روی محیط توسعه پایه (سیستم عامل و یا کتابخانه های نرم افزاری) ارائه شده توسط پلت فرم گره پذیرفته شده برنامه ریزی کنند. با این حال، استفاده از میان افزار برنامه ریزی خاص دامنه توصیه می شود. [2] [79] CodeBlue نشان دهنده اولین میان افزار جنینی است که مخصوص سیستم های BSN است، در حالی که تیتان [80] یک چارچوب کلی تر هدف است که با موفقیت به حوزه BSN اعمال شده است [1] SPINE. اولین چارچوب برنامه ریزی دامنه-خاص برای BSN ها و اثربخشی آن به طور گسترده ای ثابت شده است [4]. اخیرا، با ظهور پارادایم ابر، BSN middlewares برای پشتیبانی از نظارت طولانی مدت، ذخیره سازی داده ها و تجزیه و تحلیل، مدیریت جامعه و تعامل با سرویس های کاربردی (مانند [81] BodyCloud، [82] e-Cloud BAN Health [83]) تکامل یافته است.

گرچه BSN ها به عنوان یک شاخه تحقیقاتی از WSN ها نشأت گرفته اند و با توجه به شباهت های ذاتی آنها، بین این شبکه ها تفاوت های زیادی وجود دارد [84]. WSN ها معمولا بر اساس تعداد گره ها و به وضوح محدوده جغرافیایی، مقیاس بزرگتری دارند. اما WSN ها می توانند از گره های بیش از حد استفاده کنند بنابراین استحکام فردی اغلب یک اولویت نیست، در حالی که به دلیل نگرانی بالا از پوشیدگی و راحتی کاربر، BSN ها باید از حداقل

تعداد گره ها استفاده کنند، هر کدام تضمین از دقت بالا و قابلیت اطمینان دارند. به همین دلیل، گره های BSN از لحاظ ابعاد فیزیکی، وزن، سازگاری با محیط زیست و ارگونومی بسیار مورد توجه است. در مقابل، از لحاظ ذخیره انرژی، از آنجا که باتری های گره های BSN معمولا می توانند ریشارژ شوند یا جایگزین کردن آنها خیلی آسان است، تقارن (trade-off) بین الزامات به سمت دقت می رود، در حالی که WSN ها دارای محدودیت های کم (انرژی) قدرت هستند. علاوه بر این، برنامه های کاربردی BSN معمولا نیاز به نمونه برداری بالایی از حسگرها، میزان انتقال داده ها و نظارت مستمر دارند. در نهایت، اکثریت قریب به اتفاق BSN ها توپولوژی شبکه ستاره را در نظر می گیرند، در حالی که WSN ها به طور ذاتی چند اکتیو هستند.

به طور معمول، برنامه های کاربردی BSN یک محاسبات توزیع شده را انجام می دهند که پاسخ ها را تجزیه و تحلیل و تلفیق می کنند و داده ها را به یک هاب محلی (به عنوان مثال یک گوشی هوشمند) برای احتمالا پردازش بیشتر می پردازند. هاب محلی می تواند نتایج نهایی را به یک سرور پشتی برای تصمیم گیری بالینی و مداخلات ارسال کند. هر گره حسگر در یک BSN یک سری از وظایف محاسباتی را بر روی سیگنال های فیزیولوژیک جمع آوری شده به ترتیب برای استخراج اطلاعات جزئی در مورد کاربر انجام می دهد [85]. وضعیت کلی کاربر، توسط پردازش توزیع شده و مشترک از این داده ها تعیین می شود.

وظایف اصلی پردازش بر روی داده های سنسور BSN انجام شده ممکن است شامل نمونه گیری داده ها، تقسیم فیلترینگ، استخراج ویژگی ها و طبقه بندی باشد. مثال هایی از تکنیک های نمونه گیری داده ها عبارتند از نرخ ثابت، نرخ متغیر، نمونه گیری تطبیقی، حساسیت فشرده، و تنظیم bit-resolution حسگر [86،87] سطح پیچیدگی الگوریتم فیلترینگ بستگی به کاربرد مورد نظر و نوع و کیفیت خواندن سنسورها دارد [88-90]. الگوریتم های تقسیم بندی جریان داده های پیوسته را به فواصل زمانی گسسته از نوع انتظار توسط مرحله پردازش اطلاعات تقسیم می کند [15،91،92]. هر قطعه یک بردار چند بعدی (ویژگی) از آن استخراج شده است که برای طبقه بندی استفاده می شود [11،93]. الگوریتم های به طور گسترده ای مورد استفاده برای طبقه بندی و تشخیص رویداد عبارتند از: k (k)

(NN نزدیکترین همسایه)، ماشین های بردار پشتیبان (SVM)، مدل های پنهان مارکوف (HMM)، شبکه عصبی (NN)، طبقه بندی درخت تصمیم، Logistic Regression و [94-99] Naive Bayesian approach .

2.2 انگیزه ها برای تلفیق داده های چند سنسور در BSN ها

همانطور که در هر سیستم اندازه گیری، BSN ها متکی به یک تک سنسور و یا بر روی چند سنسور هستند که به صورت جداگانه در نظر گرفته می شوند، از محدودیت ها و مسائل متعددی رنج می برند مانند [100]:

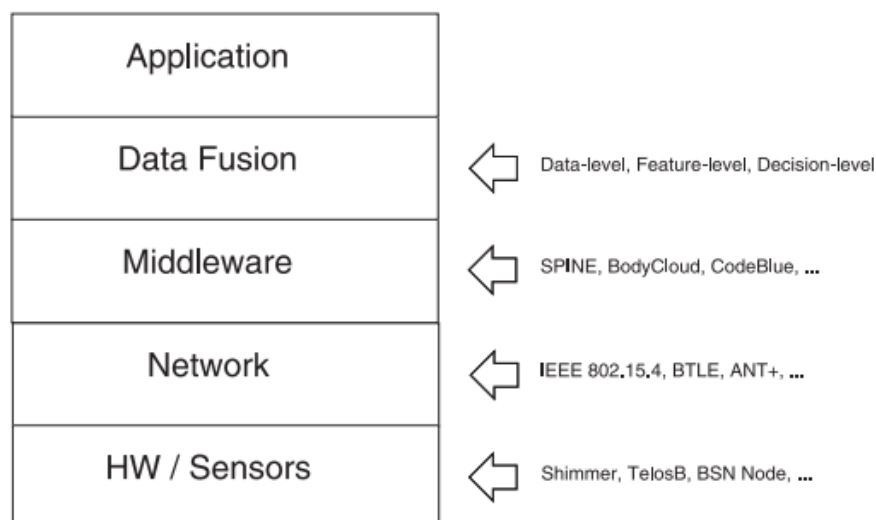
- محرومیت حسگر: خرابی یک حسگر باعث از دست دادن ادراک (گاهی) بر روی پارامتر فیزیکی مورد نظر می شود.
- پوشش فضایی محدود: یک سنسور پوشیدنی فردی اغلب مکان بدن محدود را پوشش می دهد. به عنوان مثال، یک شتاب سنج که در بازوی چپ جا داده شده است، نمی تواند حرکات مخالف را اندازه گیری کند.
- عدم دقت: اندازه گیری از سنسورهای فردی محدود به دقت آن واحدهای خاص است.
- عدم قطعیت: زمانی رخ می دهد که ویژگی ها از بین رفته باشند، زمانی که یک سنسور تنها نمی تواند تمام ویژگی های مربوط به پدیده / رویداد را اندازه گیری کند یا زمانی که مشاهدات مبهم است [101]. با توجه به مسائل مربوط به پوشش فضایی محدود، سیستم های تک حسگر نمی توانند به طور موثری عدم قطعیت را کاهش دهند.
- یک راه حل موثر برای مسائل فوق، با تلفیق چند حسگر نشان داده شده است. در واقع، استفاده از سنسورهای چندگانه (ناهمگن یا همگن) همراه با تکنیک های تلفیق داده، مزایای متعددی را ارائه می دهد، مانند موارد زیر [102،103]:
- نسبت سیگنال به نویز بهبود یافته: تلفیق جریانهای داده چندین سنسور باعث کاهش اثرات نویز می شود.
- کاهش ابهام و عدم قطعیت: استفاده از داده ها از منابع متعدد عدم قطعیت خروجی را کاهش می دهد.
- افزایش اعتماد به نفس: سنسورهای منحصر به فرد (تکی) اغلب برای آماده کردن اطلاعات قابل اعتماد کافی نیستند؛ تلفیق داده های چند سنسور دوباره به کمک می آید.
- بالا بردن استحکام و قابلیت اطمینان: استفاده از سنسورهای همگن چندگانه، افزونگی را فراهم می کند که باعث بالا بردن تحمل خطا سیستم حتی در صورت خرابی سنسور می شود.

• استحکام در برابر تداخل: افزایش ابعاد فضای اندازه گیری (به عنوان مثال اندازه گیری ضربان قلب با استفاده از هر دو سنسور الکتروکاردیوگرام (ECG) و photoplethysmogram (PPG)) به طور قابل توجهی افزایش استحکام در برابر تداخل های محیطی را دارد.

• بهبود وضوح، دقت و تبعیض فرضیه: هنگامی که چندین اندازه گیری مستقل از یک ویژگی / صفت مشابه با هم تلفیق می شوند، دقت (وضوح) مقدار نتیجه بالاتر از آنچه که می تواند با استفاده از یک حسگر به دست آید هست.

• یکپارچه سازی ویژگی های مستقل و دانش پیشین: برای درک بهتر جنبه های خاص دامنه برنامه کاربردی هدف و بهبود کارایی در برابر تداخل منابع داده.

انگیزه بیشتر برای تلفیق سنسور، کاهش پیچیدگی منطق برنامه کاربردی است. در سیستم های مرسوم، اندازه گیری های حسگر بدون نیاز به پردازش اولیه یا به طور سنتی پیش پردازش شده به طور مستقیم به برنامه کاربردی دسترسی پیدا میکند، که باید با جریان های داده نادرست، مبهم و ناقص مقابله شود. در مقابل، پیش پردازش تلفیق حسگر اجازه می دهد تا ورودی برنامه کاربردی را استاندارد سازی کند، بنابراین رشد، نگهداری و توسعه پذیری برنامه کاربردی ساده می شود [104]. در واقع، حرکت (بخشی از) منطق پیش پردازش به یک سطح پایین تر از برنامه کاربردی (به طور معمول، در داخل یا بر روی سطحی از سطح میان افزار، همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است) هم مقرون به صرفه است (به عنوان مثال از لحاظ صرفه جویی در وقت / تلاش توسعه، از آنجا که توسعه دهنده برنامه کاربردی نیازی به پیاده سازی منطق پیش پردازش ندارد، بلکه با آن از طریق API ها مقابله می کند) و اغلب کارآمدتر (زیرا منطق پیش پردازش تلفیق می تواند بهتر از آنچه که توسط یک برنامه نویس معمولی انجام می شود بهینه شود). این "جدایی نگرانیها"، علاوه بر این، رویکردی است که از مدولاسیون نرم افزاری و به همین ترتیب قابلیت نگهداری حمایت می کند.



شکل 1: لایه بندی معمولی یک سیستم BSN.

3. استراتژی های تلفیق سنسور در BSN ها

همانطور که در بخش های قبلی مورد بحث قرار گرفته است، سیستم BSN نیاز به عهده برآمدن با منابع مختلف اطلاعات در سطوح مختلف دارد. با توجه به مساله خاص و راه حل های متناظر، رویکردهای مختلف تلفیق سنسور اتخاذ می شوند. هدف از این بخش، رسم یک طبقه بندی از انواع مختلف تلفیق سنسور است و به بحث در مورد ویژگی های آنها و استفاده از آنها در برنامه های کاربردی عملی می پردازد.

مستقل از سطح انتزاع، تلفیق سنسور می تواند در رقابتی (competitive)، مکمل (complementary) و مشترک (cooperative) گروه بندی شود [105]. تلفیق رقابتی به معنای استفاده از منبع معادل چندگانه از اطلاعات است و برای به دست آوردن افزونگی و خود درجه بندی استفاده می شود. در سیستم BSN، هر چند، در عمل بسیار غیر معمول است چه حتی زمانی که سنسورهای معادل چندگانه استفاده می شود، آنها معمولاً در مکان های مختلف در بدن انسان قرار می گیرند و از این رو هر کدام می توانند عملاً اطلاعات مکمل را ارائه دهند. در تلفیق مکمل، در واقع هر سنسور جنبه های مختلف پدیده های تحت کنترل را می گیرد و برای بهبود دقت و قابلیت اطمینان سیستم استفاده می شود. اطلاعات سطح بالا توسط تجزیه و تحلیل مشترک از سیگنال های مکمل به دست آمده

است. در نهایت، تلفیق مشترک زمانی که سیگنال های سنسور چندگانه مورد نیاز، برای به دست آوردن اطلاعات که با نگاه کردن به هر یک از این سیگنال ها به طور مستقل نمی تواند به دست آورد، به بازی می آید. همانطور که در زیر بخش های ذیل نشان داده شده است، در حوزه BSN تلفیق مشترک رایج ترین شکل تلفیق سنسور است.

از لحاظ انتزاع سطح پردازش اطلاعات، تلفیق چند سنسور معمولاً به سه دسته اصلی تقسیم می شود: تلفیق سطح داده، تلفیق سطح ویژگی و تلفیق سطح تصمیم [106]، [107]. در [108]، سلسله مراتب تلفیق سه سطح (داده-ویژگی-تصمیم) را به پنج حالت وابسته به I/O فرآیند تلفیق گسترش داد. در زیر یک مجموعه از قراردادهای، مدل تلفیق با ماهیت اجزای ورودی مشخص شده است، یعنی، تلفیق گروه خاصی از موجودیت ها، در حالی که تحت دیگری، مدل تلفیق با ماهیت خروجی مشخص می شود. در این مقاله، ما بر روشی سه گانه شناخته شده (سطح داده، ویژگی و تصمیم) بر اساس سطح پردازش تمرکز خواهیم کرد.

جداول 1 و 2 به ترتیب برخی از ویژگی ها و تکنیک های مربوطه را نشان می دهند. در زیر، ما در مورد هر گروه در جداول جداگانه بحث می کنیم.

بسته به سطح پردازش، روشهای تلفیقی متمرکز، توزیع شده و ترکیبی ممکن است. رویکرد متمرکز متکی بر یک مرکز تلفیقی است که در آن پردازش انجام می شود، در حالی که در رویکرد توزیع شده هر سنسور پردازش مستقل را براساس داده های خود انجام می دهد و نتایج را به یک گره فیوژن انتقال می دهد که در آن تجزیه و تحلیل سراسری در نهایت انجام می شود. تلفیق داده ترکیبی هم پیشنهاد شده است؛ در این مورد، جمع آوری داده ها و پیش پردازش معمولاً با یک روش توزیع شده انجام می شود در حالی که یک گره مرکزی هنوز مسئول جمع آوری داده های بدست آمده از منابع توزیع شده و برای انجام محاسبات در سطح تصمیم است.

جدول 1 ویژگی های فیوژن در سطوح مختلف.

از دست دادن عملکرد	از دست دادن اطلاعات	پیچیدگی پردازش	بار ارتباطی	مدل	سطح فیوژن
ندارد	ندارد	بالا	بالا	رقابتی	سطح داده
دارد	دارد	متوسط	متوسط	رقابتی	
				مکمل	
				مشترک	
دارد	دارد	کم به زیاد	کم	رقابتی	سطح تصمیم
				مکمل	
				مشترک	

جدول 2 برنامه های کاربردی و تکنیک ها در سطوح تلفیق مختلف.

پردازش سیگنال دیجیتال	داده کاوی طیفی (spectral)	سطح فیوژن
تغییر مختصات	انطباق داده ها	سطح داده
فیلتر کالمن	برآورد پارامترها	
مقیاس وزن	نیرومندی و درجه بندی	
تجزیه و تحلیل مستقل اجزاء	بازیابی منبع	
تشخیص الگو، خوشه بندی، شبکه های عصبی	دسته بندی	سطح ویژگی
سیستم های خبره، هوش مصنوعی	اقدام تصمیمی	سطح تصمیم گیری

3.1 سطوح فیوژن

اگر سیستم شامل چند سنسور همگن که پدیده فیزیکی یکسانی را اندازه گیری می کنند باشد، داده های سنسور می توانند به طور مستقیم با یکدیگر تلفیق شوند. برعکس، داده های تولید شده از منابع ناهمگونی نمی تواند مستقیماً تلفیق شود و تکنیک های تلفیق سطح تصمیم یا سطح ویژگی باید اتخاذ شود.

3.1.1 فیوژن سطح داده

در پایین ترین سطح انتزاع، معمولاً تصور می شود که سیستم های ارتباطی، ذخیره سازی و پردازشی قابل اعتماد هستند و بنابراین تمرکز بر روی الگوریتم های تلفیق است که تلفیقی از چندین منابع همگن از اطلاعات حسگر خام با هدف رسیدن به اطلاعات دقیقتر، حاوی اطلاعات مفید و مصنوعی داده های تلفیقی از منابع اصلی [107،109]. فن آوری های کلیدی در مطالعات فیوژن سطح داده عمدتاً طراحی و پیاده سازی حذف نویز، استخراج ویژگی، طبقه بندی داده ها و فشرده سازی داده ها است [110].

تلفیق سطح داده نیاز به یک رویکرد پردازش متمرکز دارد و در تلفیق با آرایه های حسگر، به طور معمول برای افزودنی و در نتیجه ارتقاء، استفاده می شود. با این حال، در حوزه BSN، اغلب برای جداسازی منبع سیگنال های در هم، به عنوان مثال، در مورد برنامه های کاربردی نظارت بر فعالیت مغز و قلب که اندازه گیری ها را نمی توان مستقیماً در منبع قرار داد و از این رو داده های جمع آوری شده در واقع تلفیقی از سیگنال های فیزیولوژیک همگن (به عنوان مثال با سیگنال های EEG و ECG است). تعدادی از پارامترها تحت تاثیر الزامات خاص برنامه کاربردی و انتخاب های طراحی از متد ها و تکنیک های تلفیق حسگر در سطح داده قرار می گیرند. جدول 3 خلاصه مهمترین پارامترهای تلفیق در سطح داده که شناسایی شده اند و تجزیه و تحلیل پیشرفته را شناسایی کرده اند.

جدول 3 پارامترهای تلفیق در سطح داده.

پارامتر	شرح
تعداد منابع	منابع داده همگن چندگانه در سطح داده جمع آوری شده و با هم تلفیق شده اند. به طور خاص، سیگنال های داده ها می توانند از (i) کانال های مختلفی از سنسور یکسان (به عنوان مثال، در مورد یک شتاب سنج سه محور)، (ii) گره های مختلف با همان نوع حسگر، یا (iii) با یک تلفیقی از گزینه های قبلی.
نرخ نمونه برداری	نرخ نمونه برداری از سنسورها یک پارامتر مربوطه است زیرا می تواند امکان انجام تلفیق داده های آنالین را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر این، اگر سنسورها با نرخهای مختلف نمونه برداری شوند، سپس تکنیک های هماهنگ سازی (در صورت لزوم) پیچیده تر می شوند.
هماهنگ سازی سنجش	تکنیک های تلفیق در سطح داده اغلب نیاز به هماهنگی خوب بین منابع حسگر دارند، اگر چه در بعضی موارد این خود وظیفه فیوز است که خاصیت همگام سازی را معرفی کند.
دوره سنجش	داده ها از منابع مختلف می توانند در زمان ثابت و منظم (سنجش دوره ای) جمع آوری شوند یا با توجه به رویدادهای سطح پایین (سنجش مبتنی بر ماشه) فعال شوند.
بافر داده	تلفیق سطح داده ها می تواند بر یک پایه نمونه - نمونه (معمولا زمانی که سیگنال ها هماهنگ می شوند) و یا بر روی بافرهای داده انجام شود.
استراتژی تجمیع	استراتژی تجمیع همچنین یک پارامتر مهم از تلفیق سطح داده است، زیرا تعیین می کند که چگونه داده ها به گره فیوژن می رسند. اغلب اوقات، یک رویکرد جمع آوری مبتنی بر ستاره دنبال می شود (گره فیوژن در مرکز ستاره و کانال های ارتباطی یک به یک با هر سنسور ایجاد می شود)؛ با این حال، داده ها را می توان با استفاده از گذرگاه (معمولا در مورد آرایه های حسگر بزرگ) و یا حلقه توکن جمع آوری کرد.
پلتفرم گره حسگر	اگر چه تلفیق مستقیم سطح داده نیاز به سیگنال های حسگر همگن دارد، همان پلت فرم گره و همچنین پلتفرم های ناهمگن (با همان نوع سنسور مجهز) می تواند در اصل استفاده شود.

3.1.2 فیوژن سطح و بیژگی

مجموعه های ویژگی استخراج شده از منابع مختلف داده (تولید شده از گره های مختلف حسگر یا یک گره تک مجهز به سنسورهای مختلف فیزیکی) می تواند برای ایجاد یک بردار ویژگی جدید با ابعاد بزرگ که نشان دهنده ورودی برای مرحله تشخیص طبقه بندی / الگوی ایجاد شده است، تلفیق شود [111].

علاوه بر این، در این سطح از تلفیق، یادگیری ماشین و تشخیص الگو، بسته به نوع برنامه کاربردی، به بردارهای ویژگی چند بعدی اعمال می شود پس از آن می تواند به فرم بردارهای ویژگی مشترک که از طبقه بندی ساخته شده است،

تلفیق شوند [107].

از آنجایی که به سادگی پیوند دادن مجموعه ویژگی ها نه راحت (و نه کارآمد) است، معمولاً برای الگوریتم های انتخاب ویژگی برای به دست آوردن به اصطلاح مهم ترین بردار ویژگی مفید است. از این رو، یکی از مزایای اصلی تلفیق سطح ویژگی تشخیص ویژگی های همبسته تولید شده با سیگنال های حسگر مختلف است تا یک زیرمجموعه ویژگی که دقت تشخیص را بهبود می بخشد را شناسایی کند. با این حال، اشکال اصلی این است که برای پیدا کردن مهم ترین زیرمجموعه ویژگی، مجموعه های آموزشی بزرگ معمولاً مورد نیاز است.

جدول 4 به طور خلاصه مهمترین پارامترهای تلفیق سطح ویژگی که مطابق آخرین پیشرفت های علمی تجزیه و تحلیل شده اند، شناسایی کرده است.

جدول 4 پارامترهای تلفیق در سطح ویژگی.

پارامتر	شرح
دامنه ویژگی	با توجه به نیازهای خاص برنامه کاربردی، ویژگی ها را می توان در دامنه زمانی ویژگی، در دامنه فراوانی یا در ترکیبی از این دو استخراج کرد.
روش استخراج ویژگی	ویژگی ها معمولاً در فواصل معین بر روی پنجره های داده ثابت یا قابل انطباق استخراج می شوند، اما در برخی موارد آنها از داده های خام مبتنی بر ماشه استخراج می شوند.
نرمال سازی ویژگی	هنگامی که مقدارهای ویژگی ممکن است هر دو در محدوده و توزیع متغیر باشند، کار نرمال سازی ویژگی باید انجام شود تا نسبت به نرمال سازی اولیه و دامنه شان برای اطمینان از اینکه سهم هر ویژگی قابل مقایسه باشد.
متد انتخاب ویژگی	همانطور که در بالا ذکر شد، تلفیق سطح ویژگی به شدت تحت تاثیر کیفیت نتیجه انتخاب ویژگی است. طیف گسترده ای از روش های انتخاب ویژگی وجود دارد که هدف آن شناسایی یک زیرمجموعه ای از ویژگی های بهینه (یا زیربهینه) است.
تنوع منبع	سیگنال های داده می توانند از سنسورهای همگن (به عنوان مثال در مورد شتاب سنج های چندگانه بر روی بخش های مختلف بدن جاسازی می شوند) یا از منابع ناهمگن (از جمله هنگامی که سیگنال ECG با داده های شتاب برای فیلتر کردن حرکت مصنوعی تلفیق می شود) حاصل شود.
اندازه پنجره داده	اندازه (یا طول) پنجره داده ها یک پارامتر مهم است زیرا از یک طرف فاکتور زمانی که مقدار ویژگی به آن اشاره می کند (همراه با نرخ نمونه گیری حسگر) تأثیر می پذیرد و از سوی دیگر نیازهای پردازش (به طور مستقیم، پنجره ای بزرگتر است، که زمان اجرایش برای استخراج ویژگی ها بزرگتر باشد؛ به خصوص در مورد استخراج ویژگی آنلاین این یک نگرانی مربوطه است). این اغلب پیش فرض است، اما در بعضی موارد به صورت پویا با توجه به واریانس مقدار ویژگی های قبلی قبول شده است.

همپوشانی پنجره	ویژگی‌ها معمولاً بر روی پنجره‌های متحرک (کشویی) بر روی جریان‌های داده حسگر استخراج می‌شوند. طراحان ممکن است با نشان دادن همپوشانی که (همچنین به عنوان انتقال شناخته شده است) بین پنجره‌های مجاور هست انتخاب کنند.
مدل پردازش	تلفیق چند سنسور در سطح ویژگی می‌تواند به صورت مرکزی در یک تک‌گره فیوژن انجام شود یا در میان گره‌های حسگر توزیع شود (که در این صورت مسئولیت سنجش و استخراج ویژگی‌ها است). در مورد اول، گره فیوژن داده خام از سنسورها را دریافت می‌کند، ویژگی‌ها را استخراج می‌کند و تلفیق را انجام می‌دهد. در مورد دوم، هنوز هم یک گره فیوژن وجود دارد، اما مجموعه‌های ویژگی از هر سنسور به دست می‌آید و از این رو تنها کار تلفیق را انجام می‌دهد.

3.1.3 فیوژن سطح تصمیم

افت تلفیق در سطح تصمیم، فرایند انتخاب (یا تولید) یک فرضیه از مجموعه‌ای از فرضیه‌های تولید شده توسط تصمیم‌گیری‌های شخصی (محلی و اغلب ضعیف) چندین سنسور است (112، 113). خروجی فیوژن در سطح تصمیم یک تصمیم منحصر به فرد است که از تصمیمات محلی چند سنسورهای همگن یا ناهمگن به دست می‌آید؛ بنابراین از اطلاعاتی استفاده می‌شود که قبلاً به یک سطح معینی از طریق داده‌های سنسور اولیه یا پردازش سطح ویژگی خلاصه شده است، به طوری که تصمیم‌گیری در سطح بالا می‌تواند انجام شود.

مزایای اصلی فیوژن در سطح تصمیم عبارتند از صرفه‌جویی در پهنای باند ارتباطی و بهبود دقت تصمیم‌گیری. یکی دیگر از جنبه‌های مهم فیوژن تصمیم، این است که به تلفیقی از سنسورهای ناهمگن اجازه می‌دهد که دامنه‌های اندازه‌گیری شده با الگوریتم‌های مختلف پردازش شوند [111].

جدول 5 خلاصه مهم‌ترین خواص تلفیق در سطح تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد که انتخاب‌های مهم طراحی را برای دستیابی به نتایج تشخیص دقیق نشان می‌دهد.

جدول 5 خواص تلفیق در سطح تصمیم.

پارامتر	شرح
متدهای فیوژن تصمیم گیری	روش های تلفیق سنسور در سطح تصمیم مشترک شامل استنتاج بیزی، منطق فازی، ارزیابی مبتنی بر اکتشافی (رای گیری) و استنتاج کلاسیک است.
تنوع منبع	تصمیم ها می تواند از منابع سنسور همگن یا ناهمگن حاصل شود.
دسته بندی	نتایج دسته بندی تک منبع معمولاً به صورت دوره ای تولید می شوند، اما در بعضی موارد گام دسته بندی می تواند با ارزیابی های ساده ی IF THEN ELSE در مورد ورودی ها (مجموعه های ویژگی) انجام شود. در هر دو مورد، توجه خاصی لازم است تا اطمینان حاصل شود که نتایج دسته بندی محلی شخصی که توسط گره فیوژن دریافت شده، به یک فریم زمان یکسان اشاره دارند.
مدل پردازش	تلفیق سنسور سطح تصمیم به طور معمول یک وظیفه توزیع شده در میان گره های حسگر هست (که طبقه بندی را به صورت محلی انجام می دهد و نتیجه را به گره ی تلفیق ارسال می کند). با این حال، می توان آن را نیز در مرکز گره تلفیق (معمولاً یک هماهنگ کننده محلی مانند یک دستگاه همراه شخصی یا حتی یک سرور ابری) انجام داد.

3.2 روش پردازش

متمرکز کردن روش های تلفیق داده شامل یک مرکز تلفیقی است که در آن اندازه گیری ها یا بردارهای ویژگی از هر یک از سنسورها پردازش می شوند تا یک تصمیم سراسری اتخاذ شود.

در تلفیق توزیع شده، هر سنسور بر اساس مشاهدات خود تصمیم گیری مستقل می کند و این تصمیمات را به گره ی تلفیق می رساند که در آن تصمیم سراسری اتخاذ می شود. از آنجا که تکنیک فیوژن توزیع شده اطلاعات کمتر را به گره تلفیق انتقال می دهد، عملکرد آن ممکن است نسبت به رویکرد متمرکز کاهش یابد. این روش یک راه حل عملی تر برای سیستم های زمان واقعی را فراهم می کند و در صورتی که حسگرهای مختلف به طور همزمان حساس به نظر می رسند، بیشترین سود را می دهد.

رویکرد متناوب که از مزایای استفاده از هر دو تکنیک های متمرکز و توزیع شده بهره می برد، به عنوان تلفیق ترکیبی شناخته می شود. اول، هر سنسور یک گزارش مستقل را بر اساس مشاهدات و ویژگی های خود ایجاد می کند. بنابراین، یک لیست از اهداف نامزد به طور مستقل از هر سنسور تولید می شود. این فرضیه تشخیص اولیه یک تصمیم نرم است. فضای فرضیه تلفیق شده تنها بر روی اهداف نامزدی که در هر حوزه فردی ظاهر می شوند تمرکز می شود. این نتیجه

کاهش قابل توجهی در تعدادی از فرضیه ها برای فرآیندهای بعدی است. این رویکرد در صورتی امکان پذیر است تنها اگر احتمال تشخیص در هر دامنه حسگر بالا باشد، در غیر این صورت احتمال تشخیص توسط پایین ترین سنسور انجام می شود.

4. تلفیق سنسور در تشخیص فعالیت

نظارت بر فعالیت های فیزیکی، آگاهی از ارتقاء سلامتی از عادات شخصی افراد را فراهم می کند. بنابراین، بسیار مهم است که بتوانیم فعالیتهای جسمانی افراد را در طول زندگی روزمره به دقت پیگیری کنیم [114]. حسگرهای اینرسی مانند شتاب سنج، ژيروسکوپ و مغناطیس سنج رایج ترین پوشیدنی های مورد استفاده در تشخیص فعالیت های انسان هستند [115]. تشخیص فعالیت انسان (HAR) می تواند با استفاده از یک تک حسگر قابل پوششی انجام شود [116]. با این حال، محققان شروع به تلفیق داده از سنسورهای متعدد برای افزایش دقت سیستم های تشخیص فعالیت کردند. طبق آخرین پیشرفت های علمی از تلفیق چند سنسور در HAR در بسیاری از مطالعات تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است [107]. مدل های تلفیقی سنسور در HAR می توانند براساس، (i) سطح اطلاعات؛ (ii) اهداف فرایند تلفیق؛ (iii) دامنه برنامه کاربردی؛ (iv) انواع سنسورهای به کار گرفته شده؛ (v) پیکربندی مجموعه سنسور؛ (vi) روند فیوژن؛ (vii) ویژگی های ورودی / خروجی و غیره [108] طبقه بندی شوند.

4.1 تلفیق سطح داده در تشخیص فعالیت

در تلفیق چند سنسور در سطح داده، داده های خام از سنسورهای پوشیدنی به طور مستقیم تلفیق می شوند [107]. با این حال، این سطح از تلفیق توسط جامعه محققان در تشخیص فعالیتها به طور کامل مورد بررسی قرار نگرفته است. دلیل این امر این است که سیستم های تشخیص فعالیت فعلی فقط مجموعه ای محدود از فعالیت های مختلف (4 تا 16 در ادبیات مطالعاتی) را تشخیص می دهند. بنابراین، روش عملی تر برای پردازش داده ها ابتدا ویژگی هایی از گره های حسگر را استخراج می کند و سپس ویژگی ها را برای تشخیص فعالیت ها ارسال می کند. این امر باعث کاهش

بار ارتباطات و در نتیجه کاهش مصرف انرژی سیستم تشخیص فعالیت می شود [117-119]. با این حال یک محدودیت به این رویکرد این است که انتقال ویژگی های با انتزاع سطح بالا نیازمندی هایی را برای شناسایی فعالیت های ریز (دانه ریز) را رعایت نمی کند.

یکی از مطالعات چندانی که تلفیق داده مستقیم در تشخیص فعالیت را مورد بررسی قرار داده است در [120] است که یک روش تشخیص فعالیت روزانه انسان را با تلفیق داده ها از دو حسگر اینرسی پوشیدنی قابل اتصال یکی روی پا و یکی دور کمر سوژه، به ترتیب بر اساس SVM ها پیشنهاد می کند. روش آنها 88.1٪ فعالیت ها از زمان، که 12.3٪ بالاتر از استفاده از یک شتاب سنج هیپ تنها بود را به درستی تشخیص داد.

4.2 تلفیق سطح ویژگی در تشخیص فعالیت

در حوزه تشخیص فعالیت، ویژگی های استخراج شده از داده های چندین حسگر با شرایط مختلف مانند شتاب سنج،ژیروسکوپ ها [121]، مغناطیس سنج ها [122،123]، سنسورهای فشار، میکروفون [124]، سنسور دما، حسگر نور [125]، می تواند ویژگی های دامنه زمانی مانند میانگین، انحراف معیار باشد [122]، واریانس [125]، انرژی، آنتروپی، همبستگی بین محورها، اندازه سیگنال [124] و میانگین مربع ریشه [123]، درصد [126]، یا ویژگی های دامنه فراوانی مانند FFT و تبدیل کسینوس گسسته [124]، انرژی طیفی، آنتروپی [126] باشند. ویژگی های دامنه زمانی معمولاً از پنجره های اندازه ثابت استخراج می شوند که می توانند با یکدیگر همپوشانی داشته باشند یا خیر [121،122]. گام بعدی این است که مجموعه ای از ویژگی های بهینه را با استفاده از روش های انتخاب ویژگی مانند تکنیک پنجره سازی، تجزیه و تحلیل مؤلفه های هسته ای [122]، حداقل افزونگی حداکثر اکتشافی [126]، همبستگی مبتنی بر انتخاب ویژگی [121،125] انتخاب کنید. پس از آن، ویژگی های انتخاب شده به طبقه بندی های نظارت شده از جمله naive Bayes [122]، SVM [124،126]، درخت های تصمیم [121]، شبکه های عصبی [15]، k-نزدیک ترین همسایه [125] یا روش های خوشه بندی غیر نظارتی مانند LDA، MFA [127] بسته به در دسترس بودن برچسب ها برای هر کلاس فعالیت برای تشخیص فعالیت هایی از جمله فعالیت های جسمانی

استاتیک مانند نشستن، ایستادن، دروغ گویی، تماشای تلویزیون [122،15] و پویا مانند پیاده روی و از پله ها بالا رفتن [122]، از پله ها پایین رفتن، دویدن [125]، پلکان بالا و پایین [121] تغذیه می شوند.

جدول 6 خلاصه تجزیه و تحلیل ما از ادبیات روی تلفیق حسگر در سطح ویژگی در سیستم های تشخیص فعالیت؛ به خاطر وضوح، ما تنها نماینده ترین (از نظر استناد و اخبار) کارهای تحلیلی را گزارش کردیم. جدول 6 پارامترهای تلفیق سطح ویژگی در حوزه شناخت فعالیت.

صفت	[122]	[124]	[126]	[125]	[15]
دامنه ویژگی	زمان	زمان، و فراوانی	زمان، و فراوانی	زمان	زمان
ویژگی ها	میانگین، انحراف معیار	میانگین، واریانس یا انحراف معیار، انرژی، آنتروپی، همبستگی بین محورها، محدوده اندازه سیگنال، زاویه شیب، ضریب خودپنداره (AR)، FFT، ضریب تبدیل کسینوس گسسته (DCT)، اختلاف ارتفاع	میانگین، انحراف معیار، همبستگی درصد، انرژی و طیفی و آنتروپی	میانگین، انحراف معیار، (میان،)، 75، 90 درصد و همبستگی بین مقادیر بردار، فرکانس غالب از سیگنال تنفسی است که فرکانس نفس کشیدن است، انرژی طیفی، آنتروپی	میانگین تجربی، میانگین مربع ریشه، انحراف معیار، واریانس، میانگین انحراف مطلق، هیستوگرام انباشته، محدوده میان دوقطبی، نرخ عبور صفر، میانگین نرخ عبور، nth درصد
روش انتخاب ویژگی	تکنیک Windowing، تجزیه و تحلیل محرک هسته	تکنیک Windowing	حداقل افزونگی حداکثر ارتباط	انتخاب ویژگی مبتنی بر همبستگی (CFS)	n.a.
تنوع منبع	شتاب سنج	سنسور شتاب سنج، فشار و میکروفون	شتاب سنج، سنسور تنفسی	یک شتاب سنج دو طرفه، نور، سنسور دما و میکروفون	n.a.
اندازه پنجره داده	0.5 ثانیه	3.5 ثانیه		ثانیه	10 ثانیه
همپوشانی پنجره	ندارد	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
مدل پردازشی	Naive Bayes	Support Vector Machine	Support Vector Machine	Decision Trees, k-Nearest Neighbor, Naive-Bayes and the Bayes Net classifier	Decision Trees, Neural Networks

فعالیت ها	نشسته، ایستاده، دراز کشیدن، راه رفتن، صعود به پله ها	راه رفتن، راه رفتن بر روی تردمیل، دویدن، دویدن بر روی تردمیل، بالا و پایین رفتن از پله ها، بالا رفتن با آسانسور، پایین رفتن با آسانسور، رقص، دوچرخه سواری، بیکار (نشستن) / ایستادن، تماشای تلویزیون، باجاروی برقی تمیز کردن، رانندگی اتومبیل، سوار اتوبوس شدن	مشخص نشده است	راه رفتن، ایستادن، نشستن، دویدن، بالا و پایین رفتن از پله ها	پیاده روی، دویدن، بالا و پایین رفتن از پله ها، نشستن، ایستادن، دراز کشیدن
-----------	--	---	---------------	--	---

4.3 تلفیق سطح تصمیم در شناخت فعالیت

هدف اصلی در تلفیق تصمیم، استفاده از یک طبقه بندی متا سطح است که ابتدا داده حسگر با استخراج ویژگی ها از آنها پیش پردازش می شوند [128]. در تشخیص فعالیت، این ویژگی ها دوباره می توانند ویژگی های دامنه زمانی [123] شامل میانگین، انحراف معیار [129]، میانه، درصد [130،131]، تعداد قله ها(نوک)، میانگین دامنه قله ها [93] یا ویژگی های فراوانی دامنه مثل همبستگی بین محورها [129] و سنسورها، انرژی و آنتروپی [130] یا تلفیقی از هر دو [130،131] باشند. پس از آن، ویژگی های استخراج شده از هر سنسور به طبقه بندی کننده ها (طبقه بند پایه) مانند [132] k-NN، [93] HMM، [112،113]، SVM، [134] Decision Tree، [135] Bayes Naive، شبکه های عصبی [112،134]، برای شناسایی برجسب های کلاس شان به صورت جداگانه داده می شود. در تشخیص فعالیت، این برجسب های کلاس نوع فعالیت هایی مانند پیاده روی و دویدن، پریدن، سرقت، مشت زدن [123] و فعالیت های غیر ورزشی مانند بالا رفتن از پله ها، پایین رفتن از پله ها، سنگ نوردی، چتربازی ها، با جارو برقی تمیز کردن، مسواک زدن دندان ها [129]، نشستن و ایستادن [136،137]، کف زدن، پرتاب کردن، خم شدن [123]، کار با کامپیوتر، حرکت دادن جعبه [130،131]، نوشتن روی دفترچه یادداشت، باز و بستن درب [112]، دراز کشیدن، چرخش چپ و راست [132]، افتادن [138] هست. در نهایت، این برجسب های کلاس با استفاده از تکنیک های تلفیقی مختلف از جمله استنتاج کلاسیک (جمع بندی، رای اکثریت [112،134]، تعداد بوردا، بالاترین

رتبه، رگرسیون لجستیک [93]، رای گیری و مجموعه [130،139] boosting، [140]، استنتاج بیزی [112] و روش Dempster-Shafar's [123] تلفیق شده اند.

دو رویکرد رایج در این سطح تلفیق، رای اکثریت و naive Bayes است. در رای گیری اکثریت، تمامی سنسورها بدون استفاده از آمار قبلی وزن یکسان می گیرند [112،134]. برچسب نهایی به سادگی برچسب کلاسی است که بیشتر در میان همه طبقه بندی های پایه رخ داده است. رویکرد naive Bayesian تلفیقی از مدل احتمالات بیزی با قانون تصمیم گیری است. یک قاعده رایج این است که یک نمونه ورودی متعلق به کلاس را طبقه بندی کنیم که حداکثر یک احتمال posteriori [112,141] باشد.

جدول 7 خلاصه نماینده ترین صفات (با توجه به استنادها و نوآوری) کارهای تجزیه و تحلیل شده است.

صفت	[123]	[129]	[130]	[93]	[134]
روش تلفیق تصمیم	تئوری - Dempster-Shafer	Boosting، bagging، رای گیری چندگانه، پشته سازی با درخت تصمیم معمولی و پشته سازی با درخت تصمیم متا	طبقه بندی ensemble چند حسگر، رای گیری و ensemble	بالاترین رتبه، تعداد بوردا و رگرسیون لجستیک	رای گیری بر اساس شهرت و رای اکثریت
روش طبقه بندی پایه	طبقه بندی نمایندگی پراکنده، طبقه بندی نمایندگی مبتنی بر همکاری	Support Vector Machine	Decision trees, K-nearest neighbors, Support vector machine, Naive Bayes	تجزیه و تحلیل جدا کننده خطی، مدل Markov مخفی	Feed Forward Neural Network, Nave Bayes, Decision Tree
فعالیت ها	پریدن، سرقت، خم شدن، مشت زدن، تکان دادن، کف زدن، پرتاب کردن، نشستن، ایستادن	ایستاده، راه رفتن، دویدن، صعودی و نزولی از پله ها گذشتن، نشستن، باجاری برقی تمیز کردن، دندان مسواک زدن	راه رفتن، دویدن، صعودی و نزولی از پله ها گذشتن، نشستن، باجاری برقی تمیز کردن، دندان مسواک زدن	وظایف اسمبل کردن اتاق کار	راه رفتن، نشستن، ایستادن
مدل پردازش	متمرکز	متمرکز	توزیع شده	متمرکز	توزیع شده

5. تلفیق سنسور فراتر از تشخیص فعالیت

تمرکز اصلی مقاله ما استفاده از تلفیق حسگر بدن در شناسایی فعالیت است، از این رو، ارزش دارد که به بررسی استفاده از تلفیق حسگر در سایر زمینه های مورد علاقه پرداخت. بنابراین، در این بخش، ما شرح مختصری در مورد کاربرد تلفیق حسگر در شناخت احساسات و سپس سلامت عمومی ارائه خواهیم داد.

5.1 شناخت احساسات

اگر چه تحقیقات اولیه در مورد شناخت احساسات بر اهمیت تحلیل تک محاوره تأکید می کند (در اینجا اصطلاح می ایستد برای حالت تشخیص است)، این رویکرد اغلب در ارائه اطلاعات قابل اطمینان برای شناخت احساسات موفق نیست. در واقع، به جزء از هدف خاص احساسات (به عنوان مثال برای تشخیص استرس یا ترس) که در آن یک منبع حسگر فردی می تواند برای دستیابی به نتایج، به اندازه کافی قوی باشد، [142-144]، سیستم های تشخیص چند احساسه در حال حاضر، شامل استخراج اطلاعات چند منظوره برای بهبود قابلیت اطمینان و دقت فرآیند شناخت [145] می باشد. به طور معمول، احساسات توسط تجزیه و تحلیل سیگنال های ویدئویی (برای حالات چهره)، صوتی (برای یادداشتهای صدا/ سخنرانی ها)، سیگنال های inertial (برای حرکات دست و موقعیت بدن) به رسمیت شناخته شده است.

جدول 8 برخی از ویژگی های مهمترین مطالعاتی که در شناخت احساسات با استفاده از تلفیق حسگر انجام شده خلاصه شده است. اغلب مطالعات از ماشین بردار پشتیبان (SVM) به عنوان مدل دسته بندی پایه استفاده شده است، در حالی که مدل های دیگری نظیر شبکه های عصبی (NN) نزدیک همسایه (KNN)، الگوی دودویی محلی (LBP) برای طبقه بندی ویژگی های مختلف داده های سنسور از جمله داده فیزیولوژیکی، حالات چهره و صدا برای تشخیص احساسات مانند غم، شادی، خشم و غیره استفاده شده است.

تلفیق چند حسگر در شناخت احساسات برای مدیریت اطلاعات مکمل مفید است [153] (به عنوان مثال برخی احساسات با صحبت کردن (ناراحتی و ترس) در حالی که احساساتی دیگر با حالت چهره (خشم و شادی) [154] بهتر شناخته می شوند و برای دستیابی به عملکرد بهتر و افزایش قدرت [155] نیاز است.

در شناخت احساسات، اطلاعات چندمنظوره در سطح ویژگی و سطح تصمیم (بخش 3) تلفیق می شوند. در تلفیق سطح ویژگی (اولیه) احساسات از حالت‌های فردی شان را در مرحله اول طبقه بندی می کنند و سپس تلاش می کنند نتایج دسته بندی یکپارچه را با هدف کاهش عدم قطعیت در طبقه بندی تلفیق کنند. در این حالت، یک روش ساده در طبقه بندی رای اکثریت را شامل می شود. برعکس، تلفیق در سطح تصمیم (اخیر)، تمام اندازه گیری هایی بدست آمده را که از سنسورهای به کار گرفته شده برای روش های مختلف به یک طبقه بند پیش آموزش دیده می شوند، تغذیه می کند که به نوبه خود تعیین کننده برچسب کلاس از اندازه گیری ناشناخته است.

در [146]، تلفیق سطح ویژگی حالت های هیجانی رانندگان مسابقات اتومبیل رانی از طریق الکترومیوگرام صورت، الکتروکاردیوگرام، تنفس و فعالیت الکترودرمی و یک روش طبقه بندی متمرکز مبتنی بر SVM و استنتاج فازی تطبیقی، مورد بررسی قرار گرفته است. تلفیق سطح ویژگی های صوتی، تصویری و تصاویر حرارتی نیز در [147] مورد مطالعه قرار گرفته است.

تلفیق سطح تصمیم داده های گفتاری در [148] پیشنهاد شده است. به طور خاص، نویسندگان یک مجموعه طبقه بندی سلسله مراتبی دو طبقه را پیشنهاد دادند. در سطح اول، ضرایب Cepstral مول فرکانس از گفتار ورودی به طور جداگانه توسط SVM و مدل میکسر گوسی (GMM) آموزش دیده و طبقه بندی شده است. سپس احتمالهای دنبالی GMM و ارزش عملکرد SVM جداگانه استخراج می شوند و به عنوان ورودی به طبقه بندی احساسات SVM سطح دوم ارائه می شوند.

جدول 8 کاربرد تلفیق BSN در شناخت احساسات.

ارجاع	سطح فیوژن	داده سنسور	روش انتخاب ویژگی	مدل طبقه بندی پایه
[146]	سطح ویژگی	ECG، تنفس، EDA، EMG	دستی	SVM، فازی تطبیقی
[147]	سطح تصمیم	میکروفن، دوربین	دستی	HMM، NN
[148]	سطح تصمیم	مجموعه هیجان برلین مکمل صدا	دستی	SVM، حالت مخلوط گاوس
[149]	سطح ویژگی سطح تصمیم	دوربین، میکروفن	دنباله عقبگرد	SVM، KNN
[150]	سطح تصمیم	ضبط حرکت دوتایی هیجانی تعاملی	دستی	SVM
[151]	سطح ویژگی سطح تصمیم	دوربین، میکروفن	Adaboost.M2	HMM، LBPs
[152]	سطح تصمیم سطح ویژگی	ECG، EEG، GSR، تنفس تصویری، دمای پوست	ANOVA یک طرفه	SVM

بر اساس این واقعیت که مشخصه های احساسی خاصی در طول زمان های مختلف مشاهده می شود، [149]، یک روش تلفیقی چند جمله ای در سطح تصمیم گیری جدید [150] تلفیق اطلاعات چند مدل چند زمانه از خروجی های کلاسیفایرهای فردی را پیشنهاد می کند.

واگنر و همکاران [156] مسئله مهمی از داده های گمشده را در یک یا چند روش در سیستم های تشخیص احساس آنلاین مورد توجه قرار داد. نویسندگان یک رویکرد گروهی مبتنی بر سطح تصمیم گیری غنی شده با استراتژی هایی برای رسیدگی به شرایط داده هایی که موقتا در دسترس نیستند، را پیشنهاد کردند.

در [151]، نویسندگان هر دو روش تلفیق سطح ویژگی و سطح تصمیم را با استفاده از الگوریتم های مبتنی بر HMM و Adaboost بر روی چهره و گفتار مورد استفاده قرار دادند و نتیجه گرفتند که تلفیق در سطح معنایی عملکرد بهتر را برای تحلیل احساسات چندمنظوره فراهم می کند. همچنین در [152] تکنیک های تلفیق سطح ویژگی و سطح تصمیم گیری، اطلاعات EEG و خیره نگاه کردن چشم مطالعه شده است. نتایج به دست آمده توسط نویسندگان نشان داد که، بر خلاف تلفیق سطح ویژگی در تلفیق سطح تصمیم، بهترین روش منحصر به فرد برای طبقه بندی انعطاف پذیر را بهبود بخشید و برای طبقه بندی والنس انجام نشده است.

برعکس، در [149]، نویسندگان مشاهده کردند که نتایج کلاسیفایر دوحالتی (صورت و گفتار) سطح ویژگی و کلاسیفایر دوحالتی در سطح تصمیم گیری مشابه هستند. با این حال، تجزیه و تحلیل ماتریس درهمی (confusion matrix) نشان داد که میزان شناخت برای هر نوع احساس کاملاً متفاوت است، بنابراین نویسندگان ادعا می کنند که "بهترین روش برای تلفیق قوانین بستگی به کاربرد دارد".

یک تلاش پژوهشی جالب [157]، یک چارچوب شناخت احساس چندمنظوره را پیشنهاد کرد که آن را ادغام سنسور هوشمند (SSI) نامید که ابزارهای آفلاین و آنلاین را برای تقسیم بندی داده ها، استخراج ویژگی ها و تشخیص الگو پشتیبانی می کند. این چارچوب اجازه می دهد تا ورودی را از شرایط ورودی مختلف اداره کند و ابزارهایی برای تلفیق چندمنظوره را فراهم کند.

5.2 سلامت عمومی

پیشرفت های اخیر در طراحی سنسورهای پوشیدنی امکان توسعه شبکه های سنسور بدن را فراهم می کند که قادر به نظارت مداوم و مستقل نشانه های حیاتی انسان هستند. [158]. این سیستم ها برای مثال مانیتورهای مراقبت سلامت از راه دور هستند، معمولاً از سنسورهای مختلف فیزیولوژیکی و تحریکی ساخته شده اند که به طور استراتژیک بر روی بدن قرار می گیرند و می توانند به کاربران و پزشکان در مورد وضعیت سلامتی افراد پاسخ دهند [159]. یکی از پیشرفت های عمده در طراحی شبکه های حسگر بدن، تکنیک های تلفیق حسگر برای بهبود دقت و کاهش پهنای باند وسیع داده های بزرگ از چندین سنسور در بدن است [160]. تکنیک های تلفیق سنسور در سیستم های مراقبت سلامت از راه دور، داده های گرفته شده از سنسورها را در دو سطح ویژگی و تصمیم تلفیق می کند. سنسورها برای اهداف مراقبت های بهداشتی عبارتند از شتاب سنج، ژيروسکوپ، مغناطیس سنج و سنسورهای فشار برای ضبط حرکت و نظارت های گلوکز، مانیتورهای ECG، اکسیمترهای پالس و مانیتورهای فشار خون [161] برای بهره گیری از اندازه گیری های فیزیولوژیکی [162،163].

در [164]، نویسندگان سیگنال های یک حسگر ECG و شتاب سنج سه محوره را در دو سطح مشخصه و تصمیم گیری برای پیاده سازی یک روش تجزیه و تحلیل برای نظارت سلامت از راه دور بزرگسالان و بیماران مسن تر، تلفیق نمودند. سیستم آنها قادر به ضبط پیوسته و تجزیه و تحلیل ECG و شتاب سنج دریافت شده از بدن انسان بود.

یک مطالعه در [165] یک سیستم مقیاس پذیر برای داده های فیزیولوژیکی کاربر و تشخیص حرکت از راه دور را با استفاده از ویژگی سنسور پوشیدنی و تلفیق داده ها در سطح تصمیم پیشنهاد شده است. سیستم آنها یکپارچه و تحلیل داده ها از درجه حرارت بدن، موقعیت جغرافیایی فعلی، الکتروکاردیوگرافی، موقعیت بدن و تشخیص سقوط ناگهانی برای تعیین وضعیت سلامت کاربر مانند سرعت ضربان قلب، جهت بدن و تشخیص سقوط احتمالی است.

در یک کار دیگر در [166]، سیستم نظارت و توانبخشی کم هزینه بدون مانع را برای شناسایی مشکلات طولانی مدت با شناسایی وضعیت بدن و حرکت بدن کاربر و تصادف با شناسایی سقوط عادی را ارائه دادند. سیستم آنها از تلفیق سطح ویژگی از داده ی حسی ارائه شده توسط شبکه ای از سنسورهای بی سیم که در محدوده کاربر قرار دارد استفاده می کند.

در [167]، یک سیستم تلفیق تصمیم گیری چندتایی با نرم افزار های کنترل بیومتریک و پزشکی ارائه شده است. سیستم آنها شامل سنسور ECG، سنسور دما و شتاب سنج است. و الگوهای بازخورد متمایزی را برای حالت بهداشتی کاربر فراهم می کند. آنها اطلاعات بیومتریک جمع آوری شده از سنسورها را برای نظارت بر وضعیت سلامت فرد درگیر در زمان واقعی یا برای دریافت داده حساس به منظور تشخیص پزشکی مورد بررسی قرار دادند.

جدول 9 برخی از ویژگی های مهمترین مطالعات در مورد استفاده از تلفیق سنسور در سلامت عموم را خلاصه می کند. اکثر این مطالعات ویژگی ها یا تصمیمات استخراج شده از سنسورهای حرکتی و سنسورهای فیزیولوژیکی مانند ECG، EEG، ضربان قلب، فشار خون، اشباع اکسیژن، دمای بدن و غیره را به منظور نظارت از راه دور وضعیت سلامتی افراد می گیرند.

جدول 9 کاربرد تلفیق BSN در بهداشت عمومی.

ارجاع	سطح فیوژن	فرایند	حسگر ها
[164]	سطح ویژگی سطح تصمیم	مکمل مشترک	ECG, شتاب سنج
[165]	سطح تصمیم	مکمل مشترک	ECG, شتاب سنج, دما
[166]	سطح داده سطح ویژگی	مکمل مشترک	شتاب سنج, ژيروسکوپ, مغناطیس سنج
[168]	سطح تصمیم	مکمل مشترک	ضربان قلب, فشار خون, اشباع اکسیژن, ECG, EEG, دمای همکاری, قند خون, شتاب سنج

6. چالش های تحقیق آینده

تحقیقات فعلی در مورد تلفیق حسگر با توجه به مسیرهای تحقیق و چالش های در حال ظهور، به ویژه در زمینه BSN های خودمختار، BSN های زمینه آگاه، BSN های همکار و BSN های ابر پشتیبانی شده می باشد. در زیر، ما برخی از بینش های هر یک از جهات فوق را ارائه می دهیم.

6.1 BSN های خودمختار

BSN های خودمختار، سیستم های BSN مبتنی بر خود شفا، خود بهینه ساز، خود پیکربند و خواص خود محافظ هستند. هر خواص نیاز دارد تا به دقت با روش های جدید تلفیق چند حسگر بیان شوند. به عنوان مثال، بر اساس پیمایش سنسور زمان واقعی و فیلتر کردن داده ها خود شفا خواهد بود [169,170]، خود بهینه سازی را از تکامل مدل پویا (مانند کلاسیفایر مجدد آموزش دیده آنلاین) پشتیبانی می کند، و به خود پیکربندی با جابجایی یا جایگزینی سنسورهای پوشیدنی خواهد رسید.

6.2 BSN های زمینه آگاه

هنگام تغییر ساختار، روشهای تلفیق چند سنسور نیاز به مقابله با چنین تغییراتی دارند، زیرا آنها می توانند تا حد زیادی بر خواص روش ها مانند دقتشان تأثیر بگذارند. چارچوب انتقال دانش بر مبنای انتقال یادگیری می تواند مورد استفاده قرار گیرد تا BSN ها بتوانند با استخراج و انتقال دانش از یک محتوا به یک دیگر با زمینه های مختلف سازگار شوند. به عنوان مثال، دسته بندی فعالیت را می توان از یک متن به دیگری منتقل کرد [171]. برای انجام این کار، اگر دیتا ستی که توسط سنسورهای بدن تولید می شود حاشیه نویسی شود، یک تابع برای ارزیابی اختلاف بین ویژگی های دیتا ست منبع و دامنه هدف تعیین می شود. اگر دیتا ست حاشیه نویسی نشود (یا برچسب داده در دسترس نباشد)، یک روش برای رمزگذاری دانش پس زمینه مانند پروفایل های حسگر مورد نیاز است. چنین طراحی می تواند هر سنسور را در دیتا ست منبع-دامنه برای تطابق با همتای خود در دامنه هدف تسهیل کند. در این حالت، موقعیت یک سنسور بدن متصل شده ممکن است یک ویژگی مهم در مشخصات (پروفایل) سنسور باشد.

6.3 های همکار BSN

BSN های مشارکتی (CBSNs) [172] ، BSN های هستند که قادر به همکاری با یکدیگر برای انجام یک هدف مشترک هستند. تلفیق داده های چند سنسور در میان CBSN ها، برای تجزیه و تحلیل داده های مشترک، مانند فیلتر کردن، یکپارچه سازی داده های وابسته به زمان وهمگام سازی شده و دسته بندی واجب است. CBSN ها می توانند با به کار بردن C-SPINE [173] برنامه ریزی شده باشند، که یک توسعه ای فرمت از چارچوب SPINE [2,174]- با به کار بردن C-SPINE سیستم CBSN e-Shake توسعه یافت [177]. e-Shake براساس یک طرح تلفیق چند سنسور برای انجام تشخیص خودکار دستها بین دو فرد و ضبط واکنش های احساسی ممکن مبتنی بر ضربان قلب به دلیل جلسات افراد است.

6.4 BSN های با کمک ابر

شبکه های ناحیه بدن با کمک ابر (CABANS)، زیرساخت های همپوشانی هستند که سیستم های BAN را در کنار سیستم های ابر به منظور فراهم آوردن جمع آوری موثر جریان حسگر بدن، مدیریت کارای جریان حسگر بدن، چارچوب مقیاس پذیر پردازش جریان سنسور بدن، ذخیره سازی مدام داده های حسگر بدن، تجزیه و تحلیل گردش کار گرا بدن و تصمیم گیری، خدمات تجسم پیشرفته و امنیت چند لایه تعبیه می کنند [178]. مثال قابل توجهی از CABAN، BodyCloud است [179]. اگرچه CABAN ها اجازه می دهند سیستم های جدید BSN جامعه گرا ایجاد کنند، آنها مسائل جدید جالبی مانند روش های تلفیق جدید برای BSN های جامعه محور (شامل حتی میلیون ها BSN)، ورودی حجم بالا از داده های جریان داده شده به الگوریتم های تلفیق که برای ارائه خروجی در زمان واقعی و مدیریت کارآمد داده چند حسگر "بزرگ" تعریف می کنند.

7. نتیجه گیری

تلفیق داده های چند سنسور، یک حوزه تحقیقاتی محسوب می شود و حتی در دامنه BSN ادبیات گسترده ای در رابطه با تلفیق سنسور در سطوح مختلف و استفاده از رویکردهای متنوع وجود دارد. با این حال، به طور کامل از دانش مان، متوجه شدیم که جامعه فاقد یک بررسی جامع و اصولی از تکنیک های پیشرفته علمی روی تلفیق چند سنسور در حوزه پژوهشی BSN است. به این ترتیب، این مطالعه به منظور ارائه یک طبقه بندی منظم و چارچوب مقایسه مشترک از ادبیات ارائه شده است. با شروع از دسته بندی سنتی (سطح داده، سطح ویژگی و سطح تصمیم) تکنیک های تلفیق، ویژگی های متمایز و پارامترهای موثر بر انتخاب طراحی فیوژن را در هر سطح شناسایی کرده ایم. ما به طور واضح درباره انگیزه ها و مزایای فیوژن داده های چند سنسور در BSN ها بحث کرده ایم و به ویژه در زمینه شناسایی فعالیت های فیزیکی، مقایسه کارهای بررسی شده با توجه به چارچوب طبقه بندی پیشنهاد شده متمرکز شده ایم. این بررسی همچنین تلفیق داده ها در حوزه های تشخیص احساسات و سلامت عمومی را پوشش داده است. ما در نهایت مسیر مربوطه و چالش های آینده مطرح شده توسط ظهور BSN های مستقل (خود مختار)، متمرکز

متقابل، مبتنی بر همکاری و ابر پشتیبانی شده که نیاز به تحقیق جدید برای تطبیق رویکرد ها و تکنیک های پیشرفته علمی فعلی از تلفیق چند سنسور دارند را معرفی کرده ایم.

References

- [1] F. Bellifemine, G. Fortino, R. Giannantonio, R. Gravina, G. A., M. Sgroi, SPINE: a domain-specific framework for rapid prototyping of WBSN applications, *Softw.* 41 (3) (2011) 237–265, doi:10.1002/spe.998.
- [2] G. Fortino, R. Giannantonio, R. Gravina, P. Kuryloski, R. Jafari, Enabling effective programming and flexible management of efficient body sensor network applications, *Hum.-Mach. Syst. IEEE Trans.* 43 (1) (2013) 115–133.
- [3] R. Gravina, A. Guerrieri, G. Fortino, F. Bellifemine, R. Giannantonio, M. Sgroi, Development of body sensor network applications using SPINE, in: *Systems, Man and Cybernetics, 2008. SMC 2008. IEEE International Conference on, 2008*, pp. 2810–2815.
- [4] R. Gravina, A. Alessandro, A. Salmeri, L. Buondonno, N. Raveendranathan, V. Loseu, R. Giannantonio, E. Seto, G. Fortino, Enabling multiple BSN applications using the SPINE framework, in: *International Conference on Body Sensor Networks (BSN 2010), 2010*, pp. 228–233.
- [5] A. Abdelgawad, M. Bayoumi, *Data Fusion in WSN*, Springer US, Boston, MA, pp. 17–35.
- [6] B. Khaleghi, A. Khamis, F.O. Karray, S.N. Razavi, Multisensor data fusion: a review of the state-of-the-art, *Inf. Fusion* 14 (1) (2013) 28–44.
- [7] T.-G. Lee, L. Seong-Hoon, Design of wearable bio-patch system platform in human healthcare environment, *Indian J. Sci. Technol.* 8 (17) (2015).
- [8] M. Alrige, S. Chatterjee, Toward a taxonomy of wearable technologies in healthcare, in: *New Horizons in Design Science: Broadening the Research Agenda*, Springer, 2015, pp. 496–504.
- [9] E. Kim, S. Helal, D. Cook, Human activity recognition and pattern discovery, *Pervasive Comput. IEEE* 9 (1) (2010) 48–53.
- [10] H. Ghasemzadeh, V. Loseu, R. Jafari, Structural action recognition in body sensor networks: distributed classification based on string matching, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 14 (2) (2010a) 425–435.
- [11] H. Ghasemzadeh, V. Loseu, R. Jafari, Collaborative signal processing for action recognition in body sensor networks: a distributed classification algorithm using motion transcripts, in: *9th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN'10), 2010b*, pp. 244–255.
- [12] H. Ghasemzadeh, R. Jafari, Data aggregation in body sensor networks: a power optimization technique for collaborative signal processing, in: *SECON, 2010*, pp. 439–447.
- [13] H. Ghasemzadeh, N. Amini, M. Sarrafzadeh, Energy-efficient signal processing in wearable embedded systems: an optimal feature selection approach, in: *2012 ACM/IEEE International Symposium on Low Power Electronics and Design, 2012*, pp. 357–362.
- [14] H. Ghasemzadeh, R. Jafari, Ultra low-power signal processing in wearable monitoring systems: a tiered screening architecture with optimal bit resolution, *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.* 13 (1) (2013) 1–23.
- [15] L. Bao, S. Intille, Activity recognition from user-annotated acceleration data, in: *Pervasive Computing, in: Lecture Notes in Computer Science, 3001, 2004*, pp. 1–17.
- [16] A. Mannini, A.M. Sabatini, Machine learning methods for classifying human physical activity from on-body accelerometers., *Sensors* 10 (2) (2010) 1154–1175.
- [17] D. Minnen, T. Starner, J. Ward, P. Lukowicz, G. Troster, Recognizing and discovering human actions from on-body sensor data, in: *IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME 2005), 2005*, pp. 1545–1548.
- [18] B. Mortazavi, N. Alsharufa, S.I. Lee, M. Lan, M. Sarrafzadeh, M. Chronley, C.K. Roberts, Met calculations from on-body accelerometers for exergaming movements, in: *IEEE International Conference on Body Sensor Networks (BSN 2013), 2013*, pp. 1–6.

- [19] S. Härtel, J.-P. Gnam, S. Löffler, K. Bös, Estimation of energy expenditure using accelerometers and activity-based energy models - validation of a new device, *Eur. Rev. Aging Phys. Act.* 8 (2) (2011) 109–114.
- [20] G. Plasqui, A. Bonomi, K. Westerterp, Daily physical activity assessment with accelerometers: new insights and validation studies, *Obesity Rev.* 14 (6) (2013) 451–462.
- [21] V. Vikas, C.D. Crane III, Measurement of robot link joint parameters using multiple accelerometers and gyroscope, in: *ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 2013.
- [22] Y. Wei, Q. Fei, L. He, Sports motion analysis based on mobile sensing technology, in: *International Conference on Global Economy, Finance and Humanities Research (GEFHR 2014)*, 2014.
- [23] A. Ahmadi, E. Mitchell, F. Destelle, M. Gowing, N. O'Connor, C. Richter, K. Moran, Automatic activity classification and movement assessment during a sports training session using wearable inertial sensors, in: *11th International Conference on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2014)*, 2014, pp. 98–103.
- [24] H. Ghasemzadeh, V. Loseu, R. Jafari, Wearable coach for sport training: a quantitative model to evaluate wrist-rotation in golf, *J. Ambient Intell. Smart Environ. Spec. Issue Wearable Sensors* (2009) 173–184.
- [25] D.K. Arvind, A. Bates, The speckled golfer, in: *The ICST 3rd International Conference on Body Area Networks (BodyNets '08)*, 2008, pp. 1–7.
- [26] H. Ghasemzadeh, R. Jafari, Coordination analysis of human movements with body sensor networks: a signal processing model to evaluate baseball swings, *IEEE Sensors J.* 11 (3) (2011) 603–610.
- [27] A. Solanas, C. Patsakis, M. Conti, I. Vlachos, V. Ramos, F. Falcone, O. Postolache, P. Perez-martinez, R. Pietro, D. Perrea, et al., Smart health: a context-aware health paradigm within smart cities, *IEEE Commun. Mag.* 52 (8) (2014) 74–81.
- [28] S.-T. Wang, C.-L. Fan, Y.-Y. Huang, C.-H. Hsu, Toward optimal crowdsensing video quality for wearable cameras in smart cities, in: *IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPs 2015)*, 2015, pp. 624–629.
- [29] W. Piekarski, B.H. Thomas, Tinmith-metro: new outdoor techniques for creating city models with an augmented reality wearable computer, in: *5th International Symposium on Wearable Computers*, 2001, pp. 31–38.
- [30] M. Swan, T. Kido, M. Ruckenstein, BRAINY - multi-modal brain training app for Google Glass: cognitive enhancement, wearable computing, and the internet-of-things extend personal data analytics, in: *40th International Conference on Very Large Databases Workshop on Personal Data Analytics in the Internet of Things*, 2014.
- [31] A.J. Jara, Wearable internet: powering personal devices with the internet of things capabilities, in: *International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet of Things (IIKI 2014)*, 2014.
- [32] S. Hiremath, G. Yang, K. Mankodiya, Wearable internet of things: concept, architectural components and promises for person-centered healthcare, in: *EAI 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare (Mobihealth 2014)*, 2014, pp. 304–307.
- [33] M. Swan, Sensor mania! the internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0, *J. Sensor Actuator Netw.* 1 (3) (2012) 217–253.
- [34] R. Hillestad, J. Bigelow, et al., Can electronic medical record systems transform health care? potential health benefits, savings, and costs, *Health Aff.* 24 (5) (2005) 1103–1117.
- [35] M. Marschollek, M. Gietzelt, M. Schulze, M. Kohlmann, B. Song, K.-H. Wolf, Wearable sensors in healthcare and sensor-enhanced health information systems: all our tomorrows? *Healthc.Inform.Res.* 18 (2) (2012) 97–104.
- [36] C. Van Hoof, J. Penders, Addressing the healthcare cost dilemma by managing health instead of managing illness: an opportunity for wearable wireless sensors, in: *Conference on Design, Automation and Test in Europe*, in: *DATE '13*, 2013, pp. 1537–1539.

- [37] J. Herz, Wearables are totally failing the people who need them most, wired magazine; available online: <http://www.wired.com/2014/11/where-fitness-trackers-fail/>, 2014.
- [38] HealthDayReporter, Global toll of 'non-communicable diseases' – \$47 trillion by 2030, healthday reporter; available online: <http://consumer.healthday.com/cancer-information-5/lung-cancer-news-100/global-toll-of-non-communicable-diseases-47-trillion-by-2030-657008.html>, 2011.
- [39] D.E. Bloom, E. Cafiero, E. Jané-Llopis, S. Abrahams-Gessel, L.R. Bloom, S. Fathima, A.B. Feigl, T. Gaziano, A. Hamandi, M. Mowafi, et al., The Global Economic Burden of Noncommunicable Diseases, Technical Report, Program on the Global Demography of Aging, 2012.
- [40] K. Lorig, H. Holman, D. Sobel, Living a Healthy Life with Chronic Conditions: Self-management of Heart Disease, Arthritis, Diabetes, Depression, Asthma, Bronchitis, Emphysema and Other Physical and Mental Health Conditions, Bull Publishing Company, 2012.
- [41] B. Waschki, A. Kirsten, O. Holz, K.-C. MÄžller, T. Meyer, H. Watz, H. Magnussen, Physical activity is the strongest predictor of all-cause mortality in patients with copdphysical activity and all-cause mortality in copda prospective cohort study, CHEST J. 140 (2) (2011) 331–342.
- [42] B.H. Hansen, Physical activity in adults and older people: levels of objectively measured physical activity in a population-based sample of norwegian adults and older people (20-85 years), doctoral thesis, 2013.
- [43] S.J. Biddle, M. Asare, Physical activity and mental health in children and adolescents: a review of reviews, Br.J.Sports Med. (2011) 886–895.
- [44] W.P. Morgan, S.E. Goldston, Exercise and Mental Health, Routledge, 2013.
- [45] S.J. Strath, L.A. Kaminsky, B.E. Ainsworth, U. Ekelund, P.S. Freedson, R.A. Gary, C.R. Richardson, D.T. Smith, A.M. Swartz, et al., Guide to the assessment of physical activity: clinical and research applications a scientific statement from the american heart association, Circulation 128 (20) (2013) 2259–2279.
- [46] D. Van Dyck, E. Cerin, I. De Bourdeaudhuij, E. Hinckson, R.S. Reis, R. Davey, O.L. Sarmiento, J. Mitas, J. Troelsen, D. MacFarlane, et al., International study of objectively measured physical activity and sedentary time with body mass index and obesity: IPEN adult study, Int. J. Obesity (2014) 199–207.
- [47] S.K. Park, C.R. Richardson, R.G. Holleman, J.L. Larson, Physical activity in people with copd, using the national health and nutrition evaluation survey dataset (2003–2006), Heart Lung 42 (4) (2013) 235–240.
- [48] D.D. Dunlop, J. Song, P.A. Semanik, L. Sharma, J.M. Bathon, C.B. Eaton, M.C. Hochberg, R.D. Jackson, C.K. Kwoh, W.J. Mysiw, et al., Relation of physical activity time to incident disability in community dwelling adults with or at risk of knee arthritis: prospective cohort study, Br. Med. J. 348 (2014) 1–11.
- [49] I.-M. Lee, Physical activity and cancer prevention—data from epidemiologic studies., Med. Sci. Sports Exercise 35 (11) (2003) 1823–1827.
- [50] M.D. Holmes, W.Y. Chen, D. Feskanich, C.H. Kroenke, G.A. Colditz, Physical activity and survival after breast cancer diagnosis, Jama 293 (20) (2005) 2479–2486.
- [51] J. Garcia-Aymerich, P. Lange, M. Benet, P. Schnohr, J.M. Antó, Regular physical activity reduces hospital admission and mortality in chronic obstructive pulmonary disease: a population based cohort study, Thorax 61 (9) (2006) 772–778.
- [52] F. Pitta, T. Troosters, M.A. Spruit, V.S. Probst, M. Decramer, R. Gosselink, Characteristics of physical activities in daily life in chronic obstructive pulmonary disease, Am.J.Respir.Crit.Care Med. 171 (9) (2005) 972–977.
- [53] K. Robertson, C. Rosasco, K. Feuz, D. Cook, M. Schmitter-Edgecombe, C-66prompting technologies: is prompting during activity transition more effective than time-based prompting? Arch.Clin.Neuropsychol. 29 (6) (2014) 598.
- [54] B. Das, A. Seelye, B. Thomas, D. Cook, L. Holder, M. Schmitter-Edgecombe, Using smart phones for context-aware prompting in smart environments, in: Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2012 IEEE, 2012, pp. 399–403.
- [55] B. Das, C. Chen, A. Seelye, D. Cook, An automated prompting system for smart environments, in: Toward Useful Services for Elderly and People with Disabilities, in: Lecture Notes in Computer Science, 6719, 2011, pp.

- 9–16. [56] A. Seelye, M. Schmitter-Edgecombe, B. Das, D. Cook, Application of cognitive rehabilitation theory to the development of smart prompting technologies, *Biomed. Eng. IEEE Rev.* 5 (2012) 29–44.
- [57] N.C. Krishnan, D.J. Cook, Activity recognition on streaming sensor data, *Pervasive Mobile Comput.* 10, Part B (0) (2014) 138–154.
- [58] B. Das, D. Cook, M. Schmitter-Edgecombe, A. Seelye, Puck: an automated prompting system for smart environments: toward achieving automated prompting-challenges involved, *Pers. Ubiquitous Comput.* 16 (7) (2012) 859–873.
- [59] C. Chen, N. Kehtarnavaz, R. Jafari, A medication adherence monitoring system for pill bottles based on a wearable inertial sensor, in: *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC'14)*, 2014, pp. 4983–4986.
- [60] M. Burrows, N. Eckhaus, D. Grube, G. Christoffersen, Medication adherence system for and method of monitoring a patient medication adherence and facilitating dose reminders, 2013. US Patent App. 14/042,768.
- [61] D. Roggen, M. Wirz, D. Helbing, G. Tröster, Recognition of crowd behavior from mobile sensors with pattern analysis and graph clustering methods, *Netw. Heterogen. Media* (2011) 521–544.
- [62] Y. Naudet, I. Lykourantzou, Personalisation in crowd systems, in: *9th International Workshop on Semantic and Social Media Adaptation and Personalization (SMAP 2014)*, 2014, pp. 32–37.
- [63] B. Guo, H. Chen, Z. Yu, X. Xie, S. Huangfu, Z. Wang, Fliermeet: cross-space public information reposting with mobile crowd sensing, in: *2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, in: *UbiComp '14 Adjunct*, 2014, pp. 59–62.
- [64] G. Cardone, A. Cirri, A. Corradi, L. Foschini, The participact mobile crowd sensing living lab: the testbed for smart cities, *IEEE Commun. Mag.* 52 (10) (2014) 78–85.
- [65] M. Talasila, R. Curtmola, C. Borcea, Improving location reliability in crowd sensed data with minimal efforts, in: *Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC), 2013 6th Joint IFIP*, 2013, pp. 1–8.
- [66] P. Carreno, F. Gutierrez, S.F. Ochoa, G. Fortino, Supporting personal security using participatory sensing, *Concurrency Comput. Pract. Exp.* 27 (10) (2015) 2531–2546.
- [67] P. Pendse, J. Greene, A wellness android application with social networking capabilities, in: *51st ACM Southeast Conference*, in: *ACMSE '13*, 2013, pp. 1–6.
- [68] N. Jabeur, S. Zeadally, B. Sayed, Mobile social networking applications, *Commun. ACM* 56 (3) (2013) 71–79.
- [69] T. Ryan, J. Huang, P. Booth, J. McKay, S. Moon, M. Seger, A. Millner, P. Deng, C. Marra, S. Thomson, et al., Identifying and providing physical social actions to a social networking system, 2014. US Patent App. 14/090,252.
- [70] W. Lam, R. Ramde, Creating new connections on social networks using gestures, 2013. US Patent App. 13/843,661.
- [71] IEEE 802.15.4 website, <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>, last accessed: Sept 2016.
- [72] Bluetooth Low Energy website, <https://www.bluetooth.com/what-isbluetooth-technology/bluetooth-technology-basics/low-energy>, last accessed: Sept 2016.
- [73] ANT+ website, <http://www.thisisant.com>, last accessed: Sept 2016.
- [74] P. Alexandros, B. Nikolaos, A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 40 (1) (2010) 1–12.
- [75] TelosB node, http://www.memsic.com/userfiles/files/Datasheets/WSN /telosb_datasheet.pdf, last accessed: Sept 2016.
- [76] Shimmer Sensing website, <http://www.shimmersensing.com>, last accessed: Sept 2016.
- [77] Tinyos website, <http://www.tinyos.net>, last accessed: Sept 2016.
- [78] A. Dunkels, B. Gronvall, T. Voigt, Contiki - lightweight and flexible operating system for tiny networked sensors, in: *Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks*, in: *LCN'04*, IEEE Computer Society, 2004, pp. 455–462.

- [79] D. Malan, T. Fulford-Jones, M. Welsh, S. Moulton, CodeBlue: an ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care, in: Proceedings of the MobiSys 2004 Workshop on Applications of Mobile Embedded Systems, in: WAMES 2004, ACM Press, 2004.
- [80] C. Lombriser, D. Roggen, M. Stager, G. Troster, Titan: atiny task network for dynamically reconfigurable heterogeneous sensor networks, in: Proceedings of the 15th Fachtagung Kommunikation in Verteilten Systemen, in: KiVS 2007, Springer, 2007, pp. 127–138.
- [81] G. Fortino, D. Parisi, V. Pirrone, G.D. Fatta, Bodycloud: a SaaS approach for community body sensor networks, *Future Gener. Comput. Syst.* 35 (6) (2014a) 62–79.
- [82] G. Fortino, G.D. Fatta, M. Pathan, A. Vasilakos, Cloud-assisted body area networks: state-of-the-art and future challenges, *Wireless Netw.* 20 (7) (2014b) 1925–1938.
- [83] A. Lounis, A. Hadjidj, A. Bouabdallah, Y. Challal, Secure and scalable cloud-based architecture for e-health wireless sensor networks, in: 21st International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN 2012), 2012, pp. 1–7.
- [84] X. Lai, Q. Liu, X. Wei, W. Wang, G. Zhou, G. Han, A survey of body sensor networks, *Sensors* 13 (5) (2013) 5406–5447.
- [85] H. Ghasemzadeh, E. Guenterberg, K. Gilani, R. Jafari, Action coverage formulation for power optimization in body sensor networks, in: Asia and South Pacific Design Automation Conference, 2008, pp. 446–451.
- [86] R. Rieger, S. Chen, A signal based clocking scheme for A/D converters in body sensor networks, in: IEEE Region 10 Conference (TENCON 2006), 2006, pp. 1–4.
- [87] R. Rieger, J. Taylor, An adaptive sampling system for sensor nodes in body area networks, *IEEE Trans. Neural Syst. Rehabil. Eng.* 17 (2) (2009) 183–189.
- [88] A. Milenkovic, C. Otto, E. Jovanov, Wireless sensor networks for personal health monitoring: issues and an implementation, *Comput. Commun.* 29 (13–14) (2006) 2521–2533.
- [89] R. Von Borries, J. Pierluissi, H. Nazeran, Wavelet transform-based ECG baseline drift removal for body surface potential mapping, in: 27th Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society, 2006, pp. 3891–3894.
- [90] D.L. Donoho, De-noising by soft-thresholding, *IEEE Trans. Inf. Theory* 41 (3) (1995) 613–627.
- [91] M. Quwaider, S. Biswas, Body posture identification using hidden Markov model with a wearable sensor network, in: ICST 3rd International Conference on Body Area Networks, 2008, pp. 1–8.
- [92] E. Guenterberg, A. Yang, H. Ghasemzadeh, R. Jafari, R. Bajcsy, S. Sastry, A method for extracting temporal parameters based on hidden Markov models in body sensor networks with inertial sensors, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 13 (6) (2009) 1019–1030.
- [93] J.A. Ward, P. Lukowicz, G. Troster, T.E. Starner, Activity recognition of assembly tasks using body-worn microphones and accelerometers, *Pattern Anal. Mach. Intell. IEEE Trans.* 28 (10) (2006) 1553–1567.
- [94] L. Klingbeil, T. Wark, A wireless sensor network for real-time indoor localisation and motion monitoring, in: 7th International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN '08), 2008, pp. 39–50.
- [95] J. Lester, T. Choudhury, G. Borriello, A Practical Approach to Recognizing Physical Activities, *Lecture Notes in Computer Science: Pervasive Computing* (2006) 1–16.
- [96] H. Ghasemzadeh, J. Barnes, E. Guenterberg, R. Jafari, A phonological expression for physical movement monitoring in body sensor networks, in: 5th IEEE International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, 2008, pp. 58–68.
- [97] H. Ghasemzadeh, B. Shirazi, Context-aware signal processing in medical embedded systems: a dynamic feature selection approach, in: 1st IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2013, pp. 642–645.
- [98] H. Ghasemzadeh, E. Guenterberg, S. Ostadabbas, R. Jafari, A motion sequence fusion technique based on PCA for activity analysis in body sensor networks, in: 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society: Engineering the Future of Biomedicine (EMBC 2009), 2009, pp. 3146–3149.

- [99] H. Ghasemzadeh, V. Loseu, R. Jafari, Structural action recognition in body sensor networks: distributed classification based on string matching, *IEEE Trans. Inf. Technol. Biomed.* 14 (2) (2010) 425–435.
- [100] W. Elmenreich, *An Introduction to Sensor Fusion - Research Report*, Vienna University of Technology, Austria, 2002.
- [101] R. Murphy, Biological and cognitive foundations of intelligent sensor fusion, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.* 26 (1) (1996) 42–51.
- [102] S. Thomopoulos, Sensor integration and data fusion, *J. Rob. Syst.* 7 (3) (1990) 337–372.
- [103] E. Bosse, J. Roy, D. Grenier, Data fusion concepts applied to a suite of dissimilar sensors, in: *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 1996, pp. 692–695.
- [104] W. Elmenreich, S. Pitzek, Using sensor fusion in a time-triggered network, in: *27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, 2001, pp. 369–374.
- [105] G.-Z. Yang, X. Hu, Multi-sensor fusion, in: G.-Z. Yang (Ed.), *Body Sensor Networks*, Springer London, 2006, pp. 239–285.
- [106] M.L. II, D. Hall, J. Llinas, *Handbook of Multisensor Data Fusion: Theory and Practice*, CRC Press, 2008.
- [107] G.-Z. Yang, *Body Sensor Networks*, Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2006.
- [108] B.V. Dasarathy, Sensor fusion potential exploitation-innovative architectures and illustrative applications, *Proc. IEEE* 85 (1) (1997) 24–38.
- [109] D. Schuldhaus, H. Leutheuser, B.M. Eskofier, Towards big data for activity recognition: a novel database fusion strategy, in: *9th International Conference on Body Area Networks*, 2014, pp. 97–103.
- [110] X. Lai, Q. Liu, X. Wei, W. Wang, G. Zhou, G. Han, A survey of body sensor networks, *Sensors* 13 (5) (2013) 5406.
- [111] C. Chen, R. Jafari, N. Kehtarnavaz, A survey of depth and inertial sensor fusion for human action recognition, *Multimedia Tools Appl.* (2015) 1–21 <http://link.springer.com/article/10.1007/s11042-015-3177-1>.
- [112] P. Zappi, T. Stiefmeier, E. Farella, D. Roggen, L. Benini, G. Troster, Activity recognition from on-body sensors by classifier fusion: sensor scalability and robustness, in: *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information*, 2007. ISSNIP 2007. 3rd International Conference on, 2007, pp. 281–286.
- [113] A. Bulling, U. Blanke, B. Schiele, A tutorial on human activity recognition using body-worn inertial sensors, *ACM Comput. Surv.* 46 (3) (2014) 1–33.
- [114] P. Alinia, R. Saeedi, B. Mortazavi, A. Rokni, H. Ghasemzadeh, Impact of sensor misplacement on estimating metabolic equivalent of task with wearables, in: *Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN)*, 2015 IEEE 12th International Conference on, IEEE, 2015, pp. 1–6.
- [115] I.M. Pires, N.M. Garcia, N. Pombo, F. Flórez-Revuelta, From data acquisition to data fusion: a comprehensive review and a roadmap for the identification of activities of daily living using mobile devices, *Sensors* 16 (2) (2016) 184.
- [116] R. Fallahzadeh, M. Pedram, R. Saeedi, B. Sadeghi, M. Ong, H. Ghasemzadeh, Smart-cuff: a wearable bio-sensing platform with activity-sensitive information quality assessment for monitoring ankle edema, in: *Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops)*, 2015 IEEE International Conference on, IEEE, 2015, pp. 57–62.
- [117] H. Ghasemzadeh, N. Amini, R. Saeedi, M. Sarrafzadeh, Power-aware computing in wearable sensor networks: an optimal feature selection, *IEEE Trans. Mobile Comput.* 14 (4) (2015) 800–812.
- [118] R. Saeedi, B. Schimert, H. Ghasemzadeh, Cost-sensitive feature selection for on-body sensor localization, in: *2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing: Adjunct Publication*, ACM, 2014, pp. 833–842.
- [119] R. Saeedi, R. Fallahzadeh, P. Alinia, H. Ghasemzadeh, An energy-efficient computational model for uncertainty management in dynamically changing networked wearables, in: *International Symposium on Low Power Electronics and Design (ISLPED 2016)*, 2016, pp. 46–51.
- [120] C. Zhu, W. Sheng, Human daily activity recognition in robot-assisted living using multi-sensor fusion, in: *Robotics and Automation*, 2009. ICRA'09. IEEE International Conference on, 2009, pp. 2154–2159.

- [121] N.A. Capela, E.D. Lemaire, N. Baddour, Feature selection for wearable smartphone-based human activity recognition with able bodied, elderly, and stroke patients, *PLoS ONE* 10 (4) (2015) 1–18.
- [122] L. Gao, A.K. Bourke, J. Nelson, A system for activity recognition using multi-sensor fusion, in: *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2011)*, 2011, pp. 7869–7872.
- [123] C. Chen, R. Jafari, N. Kehtarnavaz, Improving human action recognition using fusion of depth camera and inertial sensors, *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.* 45 (1) (2015) 51–61.
- [124] A.M. Khan, A. Tufail, A.M. Khattak, T.H. Laine, Activity recognition on smartphones via sensor-fusion and kda-based svms, *Int. J. Distrib. Sensor Netw.* 10 (5) (2014) 1–14.
- [125] U. Maurer, A. Smailagic, D.P. Siewiorek, M. Deisher, Activity recognition and monitoring using multiple sensors on different body positions, in: *International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2006)*, 2006, pp. 113–116.
- [126] S. Liu, R.X. Gao, D. John, J.W. Staudenmayer, P.S. Freedson, Multisensor data fusion for physical activity assessment, *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 59 (3) (2012) 687–696.
- [127] M. Zeng, X. Wang, L.T. Nguyen, P. Wu, O.J. Mengshoel, J. Zhang, Adaptive activity recognition with dynamic heterogeneous sensor fusion, in: *6th International Conference on Mobile Computing, Applications and Services (MobiCASE 2014)*, 2014, pp. 189–196.
- [128] A.R. Maria, P. Sever, V. Carlos, Biomedical sensors data fusion algorithm for enhancing the efficiency of fault-tolerant systems in case of wearable electronics device, in: *Conference on Grid, Cloud & High Performance Computing in Science (ROLCG 2015)*, IEEE, 2015, pp. 1–4.
- [129] N. Ravi, N. Dandekar, P. Mysore, M.L. Littman, Activity recognition from accelerometer data, in: *17th Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence - Volume 3*, in: *IAAI'05*, 2005, pp. 1541–1546.
- [130] L. Mo, S. Liu, R.X. Gao, P.S. Freedson, Energy-efficient and data synchronized body sensor network for physical activity measurement, in: *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 2013 IEEE International, IEEE, 2013, pp. 1120–1124.
- [131] L. Mo, S. Liu, R.X. Gao, P.S. Freedson, Multi-sensor ensemble classifier for activity recognition, *J. Softw. Eng. Appl.* 5 (12) (2012) 113–116.
- [132] A.Y. Yang, R. Jafari, S.S. Sastry, R. Bajcsy, Distributed recognition of human actions using wearable motion sensor networks, *J. Ambient Intell. Smart Environ.* 1 (2) (2009) 103–115.
- [133] N. Raveendranathan, S. Galzarano, V. Loseu, R. Gravina, R. Giannantonio, M. Sgroi, R. Jafari, G. Fortino, From modeling to implementation of virtual sensors in body sensor networks, *IEEE Sensors J.* 12 (3) (2012) 583–593.
- [134] M. Bahrepour, N. Meratnia, Z. Taghikhaki, P.J. Havinga, Sensor fusion-based activity recognition for parkinson patients, in: *Sensor Fusion - Foundation and Applications*, InTech, 2011, pp. 171–190.
- [135] L. Gao, A.K. Bourke, J. Nelson, Activity recognition using dynamic multiple sensor fusion in body sensor networks, in: *International conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2012)*, 2012, pp. 1077–1080.
- [136] F. Aiello, F. Bellifemine, S. Galzarano, R. Gravina, G. Fortino, An agent-based signal processing in-node environment for real-time human activity monitoring based on wireless body sensor networks, *J. Eng. Appl. Artif. Intell.* 24 (7) (2011) 1147–1161.
- [137] W. Li, J. Bao, X. Fu, G. Fortino, G. S, Human postures recognition based on d-s evidence theory and multi-sensor data fusion, in: *DPMSS Workshop at the 12th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing*, 2012, pp. 912–917.
- [138] G. Fortino, R. Gravina, Fall-mobileguard: a smart real-time fall detection system, in: *10th EAI International Conference on Body Area Networks (Bodynets 2015)*, IEEE, 2015, pp. 44–50.
- [139] H. Ghasemzadeh, P. Panuccio, S. Trovato, G. Fortino, R. Jafari, Power-aware activity monitoring using distributed wearable sensors, *IEEE Trans. Hum.-Mach. Syst.* 44 (4) (2014) 537–544.

- [140] K. Van Laerhoven, H.-W. Gellersen, Spine versus porcupine: a study in distributed wearable activity recognition, in: 8th International Symposium on Wearable Computers (ISWC '04), Washington, DC, USA, 2004, pp. 142–149.
- [141] P. Zappi, C. Lombriser, T. Stiefmeier, E. Farella, D. Roggen, L. Benini, G. Tröster, Activity recognition from on-body sensors: accuracy-power trade-off by dynamic sensor selection, in: *Wireless Sensor Networks*, 2008, pp. 17–33.
- [142] R. Covello, G. Fortino, R. Gravina, A. Aguilar, J.G. Breslin, Novel method and real-time system for detecting the cardiac defense response based on the ecg, in: *IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA 2013)*, 2013, pp. 159–164.
- [143] R. Gravina, G. Fortino, Automatic methods for the detection of accelerative cardiac defense response, *IEEE Trans. Affective Comput. In Press.* (2016), doi:10.1109/TAFFC.2016.2515094.
- [144] A. Andreoli, R. Gravina, R. Giannantonio, P. Pierleoni, G. Fortino, SPINE-HRV: A BSN-based Toolkit for Heart Rate Variability Analysis in the Time-Domain 75(2010) 369–389.
- [145] A. Konar, A. Chakraborty, *Emotion Recognition: A Pattern Analysis Approach*, Wiley, 2015.
- [146] C.D. Katsis, N. Katertsidis, G. Ganiatsas, D.I. Fotiadis, Toward emotion recognition in car-racing drivers: abiosignal processing approach, *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. - Part A* 38 (3) (2008) 502–512.
- [147] Y. Yoshitomi, S. Kim, T. Kawano, T. Kilzoe, Effect of sensor fusion for recognition of emotional states using voice, face image and thermal image of face, in: 9th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, 2000, pp. 178–183.
- [148] P. Vasuki, C. Aravindan, Improving emotion recognition from speech using sensor fusion techniques, in: *IEEE Region 10 Conference (TENCON 2012)*, 2012, pp. 1–6.
- [149] C. Busso, Z. Deng, S. Yildirim, M. Bulut, C.M. Lee, A. Kazemzadeh, S. Lee, U. Neumann, S. Narayanan, Analysis of emotion recognition using facial expressions, speech and multimodal information, in: 6th International Conference on Multimodal Interfaces, in: *ICMI '04*, 2004, pp. 205–211.
- [150] J.C. Kim, M.A. Clements, Multimodal affect classification at various temporal lengths, *IEEE Trans. Affective Comput.* 6 (4) (2015) 371–384.
- [151] D. Datcu, L. Rothkrantz, Multimodal recognition of emotions in car environments, in: *Driver Car Interaction & Interface Conference (DCII'09)*, 2009, pp. 98–106.
- [152] M. Soleymani, M. Pantic, T. Pun, Multimodal emotion recognition in response to videos, *IEEE Trans. Affective Comput.* 3 (2) (2012) 211–223.
- [153] L. Chen, T. Huang, T. Miyasato, R. Nakatsu, Multimodal human emotion / expression recognition, in: 3rd International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 1998.
- [154] L.D. Silva, T. Miyasato, R. Nakatsu, Facial emotion recognition using multimodal information, in: *IEEE International Conference on Information, Communications and Signal Processing (ICICS'97)*, 1997, pp. 397–401.
- [155] M. Pantic, L. Rothkrantz, Toward an affect-sensitive multimodal human-computer interaction, *Proc. IEEE* 91 (9) (2003) 1370–1390.
- [156] J. Wagner, E. Andre, F. Lingenfeller, J. Kim, Exploring fusion methods for multimodal emotion recognition with missing data, *IEEE Trans. Affective Comput.* 2 (4) (2011) 206–218.
- [157] J. Wagner, E. André, F. Jung, Smart sensor integration: a framework for multimodal emotion recognition in real-time, in: 2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops, 2009, pp. 1–8.
- [158] H. Banaee, M.U. Ahmed, A. Loutfi, Data mining for wearable sensors in health monitoring systems: a review of recent trends and challenges, *Sensors* 13 (12) (2013) 17472–17500.
- [159] A. Milenkovic, C. Otto, E. Jovanov, Wireless sensor networks for personal health monitoring: issues and an implementation, *Comput. Commun.* 29 (13) (2006) 2521–2533.
- [160] K.M. Reichard, M. Van Dyke, K. Maynard, Application of sensor fusion and signal classification techniques in a distributed machinery condition monitoring system, in: *AeroSense 2000*, International Society for Optics and Photonics, 2000, pp. 329–336.

- [161] G. Fortino, V. Giampá, PPG-based methods for non invasive and continuous blood pressure measurement: an overview and development issues in body sensor networks, in: IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications (MeMeA), 2010, pp. 10–13.
- [162] C. Otto, A. Milenkovic, C. Sanders, E. Jovanov, System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring, *J.Mobile Multimedia* 1 (4) (2006) 307–326.
- [163] B.P. Lo, S. Thiemjarus, R. King, G.-Z. Yang, Body sensor network - a wireless sensor platform for pervasive healthcare monitoring, in: 3rd International Conference on Pervasive Computing (PerCom), 2005.
- [164] W.-Y. Chung, S. Bhardwaj, A. Purwar, D.-S. Lee, R. Myllylae, A fusion health monitoring using ecg and accelerometer sensors for elderly persons at home, in: Engineering in Medicine and Biology Society, 2007. EMBS 2007. 29th Annual International Conference of the IEEE, IEEE, 2007, pp. 3818–3821.
- [165] W.-J. Yi, O. Sarkar, S. Mathavan, J. Saniie, Wearable sensor data fusion for remote health assessment and fall detection, in: Electro/Information Technology (EIT), 2014 IEEE International Conference on, IEEE, 2014, pp. 303–307.
- [166] F. Felisberto, F. Fdez-Riverola, A. Pereira, A ubiquitous and low-cost solution for movement monitoring and accident detection based on sensor fusion, *Sensors* 14 (5) (2014) 8961–8983.
- [167] F. Sanfilippo, K. Pettersen, A sensor fusion wearable health-monitoring system with haptic feedback, in: 11th IEEE International Conference on Innovations in Information Technology (IIT), Dubai, United Arab Emirates, 2015, pp. 262–266.
- [168] A.M. Nia, M. Mozaffari-Kermani, S. Sur-Kolay, A. Raghunathan, N.K. Jha, Energy-efficient long-term continuous personal health monitoring, *Multi-Scale Comput. Syst. IEEE Trans.* 1 (2) (2015) 85–98.
- [169] S. Galzarano, G. Fortino, A. Liotta, Embedded self-healing layer for detecting and recovering sensor faults in body sensor networks, in: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2012, pp. 2377–2382.
- [170] G. Fortino, S. Galzarano, A. Liotta, An autonomic plane for wireless body sensor networks, in: International Workshop on Computing, Networking and Communications, (session on Wireless Body Area Networks for mHealth) in conjunction with The IEEE International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC 2012), 2012, pp. 94–98.
- [171] D. Cook, K.D. Feuz, N.C. Krishnan, Transfer learning for activity recognition: a survey, *Knowl. Inf. Syst.* 36 (3) (2012) 537–556. 80 R. Gravina et al. / *Information Fusion* 35 (2017) 68–80
- [172] A. Augimeri, G. Fortino, S. Galzarano, R. Gravina, Collaborative body sensor networks, in: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2011), 2011, pp. 3427–3432.
- [173] G. Fortino, S. Galzarano, R. Gravina, W. Li, A framework for collaborative computing and multi-sensor data fusion in body sensor networks, *Inf. Fusion* 22 (2015) 50–70.
- [174] S. Galzarano, R. Giannantonio, A. Liotta, G. Fortino, A task-oriented framework for networked wearable computing, *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.* 13 (2) (2016) 621–638.
- [175] G. Fortino, A. Guerrieri, R. Giannantonio, F. Bellifemine, Platform-independent development of collaborative WBSN applications: SPINE2, in: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2009), 2009a, pp. 3144–3150.
- [176] G. Fortino, A. Guerrieri, R. Giannantonio, F. Bellifemine, SPINE2: developing BSN applications on heterogeneous sensor nodes, in: IEEE Symposium on Industrial Embedded Systems (SIES'09), 2009b, pp. 128–131.
- [177] A. Augimeri, G. Fortino, M. Rege, V. Handziski, A. Wolisz, A cooperative approach for handshake detection based on body sensor networks, in: IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC 2010), 2010, pp. 281–288.
- [178] G. Fortino, G.D. Fatta, M. Pathan, A. Vasilakos, Cloud-assisted body area networks: State-of-the-art and future research challenges, *Wireless Netw.* 20 (7) (2014a) 1925–1938.
- [179] G. Fortino, D. Parisi, V. Pirrone, G.D. Fatta, Bodycloud: A saas approach for community body sensor networks, *Future Gener. Comput. Syst.* 35 (2014b) 62–79.