دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده: **برق**

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته تحصیلی: **برق**

عنوان

تخمین حالتهای سیستم با استفاده از شبکه های سنسوری

استاد راهنما

دکتر احمد افشار

دانشجو

نرگس صادق زاده نخودبریز

چکیده:

در این پایان نامه، مسئله تخمین حالت توزیع شده در شبکه های سنسوری با وجود نویز اندازه گیری و نویز فرایند مورد بررسی قرار می گیرد. به علاوه سنسورهای موجود در شبکه سنسوری دارای مدل های اندازه گیری متفاوت هستند و بدین طریق اطلاعات بیشتری از محیط به دست می آید. با در نظر گرفتن هندسه ارتباطی سنسورها به صورت یک گراف، فرض بسیار مهم بر متصل بودن این گراف است. با وجود این فرضیات، در این کار به تعمیم تحقیقاتی می پردازیم که در آنها نشان داده می شود که چگونه می توان با استفاده از فیلترهای اجماع که در ترکیب اطلاعات سنسورها به کار گرفته می شوند، به تخمین حالت توزیع شده در شبکه های سنسوری پرداخت. بر این اساس در این پایان نامه، به معرفی دو فیلتر اجماع جدید می پردازیم که به نقاط سنسوری اجازه می دهد تا میانگین ورودی تمامی نقاط را دنبال کنند. به علاوه تحلیل همگرایی، کاهش نویز و توانایی ردیابی سیگنال های نسبتاً سریع برای فیلتر اجماع نوع اوّل نشان داده شده است. نتایج شبیه سازی مبین عملکرد بهتر فیلتر اوّل نسبت به فیلتر دوّم است. بنابراین، در ادامه کار از فیلتر اوّل استفاده شده و مشاهده می گردد که این فیلتر نه تنها در ترکیب اطلاعات سنسورها و حل مسئله اجماع نتایج بهتری نسبت به بعضی از فیلترهای اجماع پیشین از خود نشان می دهد بلکه، به بهبود عملکرد الگوریتم های موجود در تخمین حالت توزیع شده بر اساس فیلترهای اجماع، کمک شایانی می نماید. از دیگر موضوعات مورد بحث در این پایان نامه، حل مسئله اجماع با وجود کانال های ارتباطی تاخیردار و با استفاده از فیلتر اجماع پیشنهادی نوع اوّل است. ایده تخمین تاخیر و استفاده از زمان نمونه برداری متغیر بازمان و برابر با تاخیر تخمین زده شده، کمک فراوانی به کاهش تاثیرات نامطلوب تاخیر در حل مسئله اجماع می نماید. فیلتر ذرّه ای توزیع شده در سیستم های غیرخطّی با به کارگیری فیلترهای اجماع، از دیگر کارهای جدید انجام شده در این پایان نامه است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که عملکرد این روش در سیستم های غیرخطّی نتیجه بسیار بهتری نسبت به فیلتر کالمن توسعه یافته توزیع شده از خود نشان می دهد.

کلمات کلیدی: شبکه سنسوری، مسئله اجماع، فیلتر کالمن، فیلتر ذرّه ای، ، تخمین حالت توزیع شده، شبکه عصبی، الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا، تخمین تاخیر

Key Words: Sensor Networks, Consensus Problem, Kalman Filter, Particle Filter, Distributed State Estimation, Neural Networks, Back Propagation Learning Algorithm, Delay Prediction.

فهرست مطالب:

مقدمه ۱

مروری بر کارهای گذشته ۲

مروری بر فصل های پایان نامه ۵

فصل اول ۷

شبکه های سنسوری ۷

۱-۱) مقدمه ۷

۱-۲) سنسورهای هوشمند و کاربرد آنها در شبکه های سنسوری ۷

۱-۳) روشهای ترکیب اطلاعات سنسورها [۱]..... ۱۰

فصل دوم ۱۳

مسئله اجماع در شبکه های سنسوری ۱۳

۲-۱) مقدمه ۱٤

۲-۲) مقدماتی از تئوری گراف..... ۱٤

۲-۳) بیان مسئله اجماع ۱۸

۲-٤) فیلترهای اجماع بدون در نظر گرفتن تاخیر زمانی شبکه ۲۰

۲-٤-۱) فیلتر اجماع پایین گذر ۲۱

۲-٤-۲)فیلتر اجماع بالاگذر[٤،٦] ۲٤

۲-٤-۳) فیلتر اجماع میان گذر[۵] ۲٦

۲-٤-٤) نتایج شبیه سازی..... ۲۷

۲-۵) شبکه های سنسوری با تاخیرهای ارتباطی..... ۳۱

فصل سوم ۳۳

تخمین حالت در سیستمهای خطی و غیرخطی ۳۳

۳-۱) مقدمه ۳٤

۳-۲) مسئله تخمین در سیستم های خطّی ۳۵
۳-۲-۱) فیلتر کالمن ۳۶
۳-٤) تخمین حالت غیرخطّی ۳۷
۳-٤-۱) فیلتر کالمن توسعه یافته ۳۸
۳-۵) فیلتر ذرّه ای ۳۹
۳-۵-۲) تخمین حالت با استفاده از فیلتر ذرّه ای ٤۰
۳-٦) نتایج شبیه سازی ٤۷

فصل چهارم ۵۵

تخمین حالت با استفاده از شبکه های سنسوری ۵۵

٤-۱) مقدمه ۵٦
٤-۲) فرم اطلاعات فیلتر کالمن ۵٦
٤-۳) فیلتر کالمن توزیع شده و میکرو کالمن فیلترها ۵۸
٤-٤) فیلتر کالمن توزیع شده و اجماع روی تخمین ها ٦۲
٤-٤-۱) فیلتر کالمن محلی ٦۲
٤-٤-۲) اجماع روی تخمین ها ٦۳
٤-۵) فیلتر ذرّه ای توزیع شده ٦٤
٤-٦) نتایج شبیه سازی ٦٦

فصل پنجم ٦۹

رهیافتی نو در حل مسئله اجماع و تخمین حالت در شبکه های سنسوری ٦۹

۵-۱) مقدمه ۷۰
۵-۲) معرفی فیلترهای اجماع ۷۰
۵-۲-۱) فیلتر اجماع نوع اوّل ۷۰
۵-۲-۲) فیلتر اجماع نوع دوّم ۷۹
۵-۲-۳) تحقق فیلترها توسط شبکه عصبی ۸۰
۵-۲-٤) نتایج شبیه سازی ۸۲

۵-۳) معرفی فیلترهای اجماع برای شبکه های سنسوری با تاخیرهای ارتباطی ۸۹
۵-۳-۱) حل مسئله اجماع با در نظر گرفتن تاخیر حداکثر ۸۹
۵-۳-۱-۱) تاخیر ارتباطی کوچکتر از گذشته ورودی و گذشته سیستم..... ۹۰
۵-۳-۱-۲) تاخیر ارتباطی بزرگتر از گذشته ورودی و گذشته سیستم..... ۹۳
۵-۳-۲) حل مسئله اجماع با استفاده از تخمین تاخیر کانال ارتباطی ۹٤
۵-۳-۳) نتایج شبیه سازی..... ۹٦
٤-۵) تخمین حالت توزیع شده..... ۱۰۰
۵-٤-۱) فیلتر کالمن توزیع شده با استفاده از فیلتر اجماع جدید..... ۱۰۰
۵-٤-۲) تحقق فیلتر ذرّه ای توزیع شده با استفاده از فیلتر اجماع..... ۱۰۲
۵-٤-۳) نتایج شبیه سازی..... ۱۰۷
فصل ششم ۱۱۱
نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۱۱
٦-۱) جمع بندی و نتیجه گیری..... ۱۱۳
٦-۲) پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ۱۱٤
فهرست مراجع: ۱۱٦

فهرست اشکال

شکل۱-۱) دسته بندی کلی مسائل مختلف در WSN ۱۰

شکل۱-۲) ترکیب اطلاعات جهت استفاده در تخمین حالت متمرکز ۱۱

(الف) ترکیب اندازه گیری (ب) ترکیب بردار حالت ۱۱

شکل (۲-۲) گراف مثال ۲-۲ ..... ۱۷

شکل(۲-۳): اندازه گیری آغشته به نویز تمامی سنسورهای شبکه سنسوری از سیگنال $r_1(t)$ ۲۸

شکل (۲-٤): سیگنال $r_1(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر پایین گذر ۲۸

شکل (۲-۵): سیگنال $r_1(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر بالا گذر ۲۸

شکل (۲-٦): سیگنال $r_1(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر میان گذر ۲۹

شکل(۲-۷): اندازه گیری آغشته به نویز تمامی سنسورهای شبکه سنسوری از سیگنال $r_2(t)$ ۲۹

شکل (۲-۸): سیگنال $r_2(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر پایین گذر ۳۰

شکل (۲-۹): سیگنال $r_2(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر بالا گذر ۳۰

شکل (۲-۱۰): سیگنال $r_2(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر میانگذر ۳۰

شکل (۳-۱): بلوک دیاگرام فیلتر کالمن گسسته در زمان ۳۷

شکل ۳-۲) یک شماتیک توصیفی از نمونه برداری مجدد ٤۳

شکل ۳-۳) یک توصیف تصویری از نمونه برداری و نمونه برداری مجدد در فیلتر ذرّه ای ٤۳

شکل (۳-٤) محورهای حرکت ٤۸

شکل (۳-۵) سطوح کنترل ٤۸

شکل (۳-٦) نسبت سیگنال به نویز ۵۱

شکل (۳-۷) سرعت زاویه ای غلتشی ۵۱

شکل (۳-۹) سرعت زاویه ای سمتی ۵۲

شکل (۳-۱۱) زاویه سرعت جانبی ۵۲

شکل (۳-۱۳) زاویه چرخش ۵۲

شکل (۳-۱٤) سرعت زاویه ای غلتشی ۵۳

شکل (۳-۱٦) سرعت زاویه ای سمتی ۵٤

شکل (۳-۱۸) زاویه سرعت جانبی ٥٤
شکل (۳-۲۰) زاویه چرخش ٥٤
شکل٤-۱) یک شبکه سنسوری با ۲۰۰ سنسور و ۱۰۷٤ لبه ٥٧
شکل٤-۲) ساختار میکرو کالمن فیلتر الگوریتم ۱ ..... ٦١
شکل (٤-۳) سرعت زاویه ای غلتشی ٦٧
شکل (٤-٥) سرعت زاویه ای سمتی ٦٧
شکل (٤-۷) زاویه سرعت جانبی ٦٨
شکل (٤-۹) زاویه چرخش ٦٨
شکل ٥-۱) فرمت کلی فیلترهای تطبیقی پیشنهادی ٨١
شکل ٥-۲) دیاگرام TDL ٨١
شکل(٥-۳): اندازه گیری آغشته به نویز تمامی سنسورهای شبکه سنسوری از سیگنال $r_1(t)$ برای ٦٠ سنسور ٨٣
شکل (٥-٤): سیگنال $r_1(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر نوع اوّل برای ٦٠ سنسور ٨٣
شکل (٥-٥): سیگنال $r_1(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر نوع دوّم برای ٦٠ سنسور ٨٣
شکل(٥-٦): اندازه گیری آغشته به نویز تمامی سنسورهای شبکه سنسوری از سیگنال $r_2(t)$ برای ٦٠ سنسور ٨٤
شکل (٥-۷): سیگنال $r_2(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر نوع اوّل برای ٦٠ سنسور ٨٤
شکل (٥-۸): سیگنال $r_2(t)$ و خروجی تمامی گره ها بعد از استفاده از فیلتر نوع دوّم برای ٦٠ سنسور ٨٤
شکل (٥-۹): سنسور با تخمین زننده تاخیر کانال ارتباطی ٩٥
شکل (٥-۱۰): تابع اصلی تاخیر و تابع تخمین زده شده با داده های یادگیری ٩٧
شکل (٥-۱۱): خطای یادگیری ٩٧
شکل (٥-۱۲): تابع اصلی تاخیر و تابع تخمین زده شده با داده های تست ٩٧
شکل (٥-۱۳): خطای تست ٩٨
شکل (٥-۱٤) سرعت زاویه ای غلتشی ۱۰۸
شکل (٥-۱٦) سرعت زاویه ای سمتی ۱۰۸
شکل (٥-۱۸) زاویه سرعت جانبی ۱۰۸
شکل (٥-۲۰) زاویه چرخش ۱۰۹
شکل (٥-۲۱) سرعت زاویه ای غلتشی ۱۰۹
شکل (٥-۲۳) سرعت زاویه ای سمتی ۱۰۹

شکل (۵-۲۵) زاویه سرعت جانبی ۱۱۰
شکل (۵-۲۷) زاویه چرخش θ (الگوریتم (۵-۲)) ۱۱۰
شکل (۵-۲۸) نسبت سیگنال به نویز ۱۱۰

فهرست جداول

جدول (۵-۱): ارزیابی معیارهای عملکرد در فیلتر نوع اوّل ۸۶
جدول (۵-۲): ارزیابی معیارهای عملکرد در فیلتر نوع دوّم ۸۶
جدول (۵-۳): ارزیابی معیارهای عملکرد در فیلتر پایین گذر بخش (۲-٤-۱-۱) ۸۷
جدول (۵-٤): ارزیابی معیارهای عملکرد فیلتر بالا گذر بخش (۲-٤-۱-۲) ۸۸
جدول (۵-۵): ارزیابی معیارهای عملکرد فیلتر میانگذر بخش (۲-٤-۱-۳) ۸۸
جدول (۵-٦): ارزیابی معیارهای عملکرد با در نظر گرفتن حداکثر تاخیر کانال ارتباطی ٤ نمونه ۹۸
جدول (۵-۷): ارزیابی معیارهای عملکرد با در نظر گرفتن زمان نمونه برداری متغیر بازمان و تاخیر کانال با معادله (۳-٥٤) ۹۹
جدول (۵-۸): ارزیابی معیارهای عملکرد با در نظر گرفتن زمان نمونه برداری متغیر بازمان و تاخیر کانال با معادله (۳-۵۵) ۹۹

مقدمه

مروری بر کارهای گذشته

پیشرفت های اخیر تکنولوژی در زمینه ارتباطات بی سیم و همچنین کاهش حجم و قیمت ابزارهای الکترونیکی سبب ایجاد و توسعه سیستم های متصل و نه چندان گران قیمتی شده است که هر کدام دارای توانایی های محاسباتی و اندازه گیری می باشند. این نوع سیستم های پیچیده می توانند به منظور مشاهده دقیق سیستم های با ابعاد بزرگ مورد استفاده قرار گیرند. اما جمع آوری اندازه گیری سنسورهای بی سیم توزیع شده در یک نقطه واحد به منظور پردازش روی خط[1] داده ها به علت مشکلاتی چون تاخیر انتقال داده ها، پهنای باند محدود شبکه بی سیم و ملاحظات انرژی غیر ممکن است. همچنین، این مسئله در حالتی که انتقال اطلاعات توسط نقاط همسایه هر سنسور از نقطه ای به نقطه دیگر انجام می پذیرد، همچنان به قوه خود باقی است. بنابراین، هر نقطه سنسوری نیازمند یک پردازش کننده داده بوده و بایستی از الگوریتم هایی توسعه یافته برای تخمین حالت روی خط استفاده نماید. این الگوریتم ها بایستی به گونه ای باشند که همزمان بار محاسباتی بین نقاط سنسوری کم بوده و همچنین نسبت به خرابی نقاط سنسور مقاوم باشند.

تخمین حالت توزیع شده یکی از مهمترین مسائل پردازش اطلاعات در شبکه های سنسوری بی سیم می باشد. ترکیب اطلاعات سنسورها تاریخچه ای طولانی در پردازش سیگنال، تئوری کنترل و رباتیک دارد [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۲٦]. این موضوع از اواخر دهه ٦۰ میلادی توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. اما راه حل های به وجود آمده در آن دوران در عمل برای تعداد بسیار زیاد سنسورها پاسخ گو نمی باشند. مسئله تخمین حالت غیرمتمرکز[2] اوّل بار به صورت فیلتر کالمن غیرمتمرکز و توسط اسپایر[3] در سال ۱۹۷۹ مورد ملاحظه قرار گرفت [۲۹]. این مسئله به صورتی مستقل توسط راو، وایت و شین[4] بررسی گردید [۳۰]. هر دو روش پیشنهاد شده نیازمند یک ارتباط کامل بین نقاط شبکه سنسوری و یا توانایی برقراری ارتباط بین تمامی نقاط شبکه سنسوری می باشند. بنابراین، در شبکه های سنسوری با ابعاد بسیار بزرگ راه حل های ارائه شده در این کارها سودمند نیستند. این موضوع، یک تفاوت عمده فیلتر کالمن غیرمتمرکز و فیلتر کالمن توزیع شده را آشکار می سازد. بر خلاف فیلتر کالمن غیرمتمرکز، در فیلتر کالمن توزیع شده هر نقطه شبکه سنسوری تنها توانایی برقراری ارتباط با نقاط همسایه اش که با یک گراف متصل

[1] On-line
[2] Decentralized
[3] Speyer
[4] Rao, Whyte, Sheen

اما پراکنده[۵] G مدل می شوند را دارا هستند. فیلتر کالمن توزیع شده را می توان شامل تخمین حالت با استفاده از فیلترهای کالمن محلی دانست که با سایر نقاط در ارتباط هستند [۵].

در سال های اخیر و در مراجع [۵، ٦، ۷ و ۳۷]، الگوریتم هایی برای فیلتر کالمن توزیع شده معرفی می گردد که از الگوریتم های اجماع در تحقق آنها استفاده می گردد. الگوریتم های اجماع، ابزارهایی سودمند در انجام محاسبات توزیع شده و روشی سودمند در در ترکیب اطلاعات سنسورها به حساب می آیند. مسائل اجماع تاریخچه ای طولانی در زمینه علم کامپیوتر و خصوصا در زمینه نظریه ماشین ها[٦] و محاسبات توزیع شده دارند. در بسیاری از کاربردها مانند سیستم های چند عاملی[۷] تعدادی از عامل ها نیازمند رسیدن به توافق بر روی یک کمیت مورد نظر می باشند. بنابراین، بررسی مسائل اجماع و توافق در سیستم های چندعاملی دارای اهمیّت فراوانی می باشد. این فیلترها علاوه بر اهمیّت فروانشان در ترکیب اطلاعات سنسورها، دارای کاربردهای مفیدی در تخمین حالت توزیع شده هستند. الگوریتم فیلتر کالمن توزیع شده در مرجع [۵]، شامل یک تعداد میکرو کالمن فیلترها[۸]یی است که در هر کدام یک فیلتر اجماع پایین گذر و یک فیلتر اجماع بالا گذر گنجانده شده است. در مرجع [٦]، نویسنده به ارائه میکرو کالمن فیلترها با ترکیب فیلترهای اجماع پایین گذر و میان گذر می پردازد. نقش این فیلترهای اجماع در این مراجع، ترکیب اطلاعات و کوواریانس های به دست آمده از هر نقطه سنسوری می باشد. در مرجع [۷] نیز نویسنده علاوه بر استفاده از فیلترهای اجماع بالاگذر در میکرو کالمن فیلترها ایده ترکیب حالت های تخمین زده شده توسط هر نقطه سنسوری را با استفاده از یک مرحله اجماع روی تخمین ها عنوان می نماید. در مرجع [۳۷]، مسئله تخمین حالت توزیع شده با استفاده از فیلترهای اجماع و در دو مرحله انجام می پذیرد. در مرحله اوّل، هر نقطه سنسوری با استفاده از اندازه گیری های آغشته به نویز خود و با استفاده از روشی همانند فیلتر کالمن[۹] ، تخمین های خود را به روز می نماید. سپس در مرحله دوّم، تخمین های محلّی هر نقطه سنسوری با استفاده از یک الگوریتم اجماع ترکیب می شوند. به علاوه در این کار، ملاحظاتی چون حداکثر سرعت همگرایی الگوریتم های اجماع و بهینه بودن تخمین بررسی و اثبات می گردد.

مسئله تخمین حالت توزیع شده با استفاده از شبکه های سنسوری و با وجود افت داده در سال های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته شده است [۲۷، ۲۸، ۳۸]. در مرجع [۳۸]، مسئله افت داده ها در کانال های

[5] Sparse
[6] Automata Theory
[7] Multi Agent
[8] Micro Kalman Filter
[9] Kalman Filter

ارتباطی در حالی مورد بررسی قرار می گیرد که بر خلاف کارهای پیشین، داده های نادرست به سادگی به صورت افت داده در نظر گرفته نمی شود و از تمامی داده ها حتی داده های نادرست نیز در تخمین حالت استفاده می شود. همچنین، در این کار نشان داده شده است که استفاده از این رهیافت به طور قابل ملاحظه ای سبب بهبود عملکرد تخمین شده و از ناپایداری احتمالی آن به علّت حذف داده های نادرست جلوگیری به عمل می آورد. در این مرجع به علاوه، به لزوم طراحی جداگانه شبکه های سنسوری و شبکه های انتقال داده به جهت حساسیت کاربردهای شبکه های سنسوری به تاخیرهای ارتباطی و دیگر مشکلات شبکه، تاکید شده است.

مسئله تخمین حالت توزیع شده با وجود عدم قطعیّت در مدل سیستم و مدل اندازه گیری در مرجع [٤٠] مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مرجع همچنین مفهوم فراوانی داده[10]، بازخوانی اطلاعات نامطمئن و مدل های چندگانه در تخمین حالت های سیستم با مدل نامطمئن بحث و بررسی می شود. در مرجع [٣٩] به تخمین حالت توزیع شده در حالی پرداخته می شود که مدل سیستم مورد بررسی مارکوف مخفی[11] به صورت مارکوف مخفی در نظر گرفته شده است.

مشکل وجود محدودیت پهنای باند ارتباطی و حل مسئله فیلتر کالمن توزیع شده در مرجع [٣٦] مطرح می گردد. در این کار فرض بر این است که در هر نمونه نقاط سنسوری تنها با یکی از همسایه های خود در ارتباط بوده و به علّت وجود مشکل پهنای باند و به جهت کاهش آن از انتقال تخمین ها به جای انتقال اندازه گیری ها بین نقاط استفاده می نماید. سپس هر نقطه سنسوری با استفاده از وزن هایی که با حداقل سازی کوواریانس خطا به دست آمده اند به میانگین گیری وزن داده شده از حالت های دریافتی می پردازد.

مسئله تخمین حالت توزیع شده در سیستم های غیرخطّی و با استفاده از فیلتر ذرّه ای یک موضوع داغ تحقیقاتی در سال های اخیر است. بعضی تلاش ها به منظور توسعه فیلترهای پارتیکل توزیع شده در شبکه های سنسوری و در حوزه هوش مصنوعی انجام شده است. اما تحقیقات انجام گرفته در این زمینه هنور توسعه چندانی نیافته است. در مرجع [٤١]، از فیلتر ذرّه ای توزیع شده به جهت ردیابی یک یا چند هدف متحرک استفاده می شود. در حالت یک هدفی، در هر مرحله زمانی تنها یک نقطه رهبر[12] فعال می باشد و این نقطه در انتخاب رهبر بعدی با توجه به حداکثر سودمندی و کاربرد پذیری آن در تخمین حالت خود،

[10] Redundant
[11] Hidden Markov
[12] Leader

تصمیم گیری کرده و حالت تخمین زده شده خود را به آن انتقال می دهد و از این طریق حالت ها بین نقاط رهبر منتشر می گردد. در مرجع [۲۰] یک فیلتر ذرّه ای توزیع شده طراحی شده است که هر سنسور تنها اندازه گیری های سودمند خود را به سایر نقاط همسایه انتقال می دهد. هر سنسور در ابتدا به صورت فیلتر ذرّه ای محلی عمل کرده و سپس با دریافت یک مجموعه از ذرّه ها از نقاط همسایه و با استفاده از ذرّه های خود، پرارزش ترین اندازه گیری را تعیین نموده و به نقاط همسایه انتقال می دهد. یکی دیگر از تحقیقات انجام گرفته در این زمینه مرجع [۱۹] می باشد. در این مرجع، انجام تخمین حالت توزیع شده در شبکه های سنسوری با استفاده از فیلتر ذرّه ای، با مد نظر داشتن ملاحظات مصرف انرژی سنسورها انجام شده است و بر این اساس به ارائه دو الگوریتم می پردازد. در الگوریتم اوّل با استفاده از فاکتوریزه کردن تابع چگالی احتمال شرطی $p(y_k|x_k)$ به تخمین پارامتریک فاکتورهای آن می پردازد و این پارامترها به جای انتقال داده های کامل بین نقاط سنسوری جابجا می شوند. در الگوریتم توزیع شده دوّم با استفاده از یک رهیافت تطبیقی به کد نمودن داده ها پرداخته می شود. این کد نمودن داده ها سبب فشرده سازی آنها شده و این فشرده سازی در انتقال داده ها بین نقاط سنسوری بسیار سودمند است.

مروری بر فصل های پایان نامه

این پایان نامه در ۵ فصل به صورت زیر سازمان یافته است:

در فصل اوّل، به ارائه مسائل کلّی و بیان مسائل مطرح در شبکه های سنسوری هوشمند به منظور آشنایی کلی با آنها پرداخته می شود. همچنین، نحوه ترکیب اطلاعات سنسورها در شبکه های سنسوری در انتهای این فصل به صورت مجمل بیان می گردد.

در فصل دوم، به معرفی پاره ای از الگوریتم های اجماع پرداخته می شود و از آنجا که در طراحی و تحلیل پروتکل های اجماع معرفی شده در این فصل، می بایست از خصوصیات گراف شبکه ارتباطی عامل ها و ماتریس های مربوطه استفاده نمود، مقدماتی کلّی و ضروری از تئوری گراف در ابتدای آن آورده شده است. همچنین، پس از بیان تعاریف مربوطه، به بررسی مسئله اجماع پرداخته و سه نوع فیلتر اجماع پایین گذر، بالا گذر و میان گذر معرفی می گردند. به علاوه، مسئله اجماع با وجود محدودیت های شبکه از جمله تاخیر کانال ارتباطی در انتهای این فصل مورد بررسی قرار می گیرد.

در فصل سوّم، هدف معرفی روش های مبتنی بر کالمن در سیستم های خطّی و غیرخطّی می باشد. همچنین، فیلتر ذره ای جهت تخمین حالت ها در یک سیستم غیرخطّی بیان می گردد.

در فصل چهارم، در ابتدا به استخراج روابط *فیلتر کالمن توزیع شده*[13] با استفاده از روابط فیلتر کالمن متمرکز[14] پرداخته می شود به طوری که نتیجهٔ تخمین به دست آمده از فیلتر کالمن توزیع شده با فیلتر کالمن متمرکز، برابر باشد. سپس استفاده از فیلترهای اجماع معرفی شده در فصل دوّم در فیلتر کالمن توزیع شده مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت نیز الگوریتمی ارائه می گردد که در آن اجماع روی نتایج تخمین های نقاط سنسوری انجام می شود. هدف این الگوریتم نیز کاهش عدم توافق در تخمین هاست. موضوع دیگری که در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد تخمین حالت توزیع شده با استفاده از فیلتر ذرّه ای می باشد. در این فصل به بیانی کلی در مورد بعضی از کارهای انجام شده در این زمینه پرداخته می شود.

در فصل ۵، ابتدا به ارائه دو روش جدید برای انجام اجماع میانگین و کاربرد آن در تخمین حالت توزیع شده پرداخته می شود که در این پایان نامه توسعه داده شده اند. در ابتدا، توپولوژی ارتباطی شبکه غیرجهت دار و ایده ال در نظر گرفته می شود. سپس، به تعمیم روش ها در کانال های ارتباطی غیرایده ال و با وجود تاخیرهای ارتباطی پرداخته می شود. در مرحله بعد این روش ها در فیلتر کالمن توزیع شده مورد استفاده قرار می گیرند. آنچه مطالعه تحقیقات انجام شده نشان می دهد این است که هیچ یک از کارهای انجام شده به استفاده از فیلترهای اجماع به منظور انجام تخمین حالت توزیع شده با استفاده از فیلتر ذرّه ای نمی پردازند. در حالی که استفاده از این فیلترها نه تنها ایده ای نو در این زمینه می باشد بلکه می تواند روشی سودمند و کارآمد به حساب آید. بر این اساس در انتهای این فصل، به ارائه رهیافتی جدید برای فیلتر ذرّه ای توزیع شده با استفاده از فیلترهای اجماع معرفی شده، اقدام خواهد شد.

[13] Distributed Kalman Filter
[14] Central Kalman Filter

فصل اول

شبکه های سنسوری

۱-۱) مقدمه

شبکه های سنسوری در سال های اخیر توجه بسیار گسترده ای را به خود جلب کرده اند. همچنین با توسعهٔ سنسورهای هوشمند توسط سیستم های میکرو الکترو مکانیکی[۱۵] این توجه دو چندان شده است. این سنسورهای هوشمند، کوچک بوده، حجم پردازشی و محاسباتی محدودی داشته و در مقایسه با سنسورهای قدیمی، از قیمت مناسب تری برخوردار هستند. این نقاط سنسوری دارای توانایی حس کردن، اندازه گیری، جمع آوری اطلاعات و انتقال اطلاعات بر اساس پاره ای از فرایندهای تصمیم گیری هستند.

در این فصل هدف آشنایی کلی با شبکه های سنسوری و بیان مسائل مطرح در آنها می باشد. برای این منظور در بخش اوّل این فصل به ارائه شبکه های سنسوری متشکل از سنسورهای هوشمند پرداخته و در بخش دوّم آن نحوه ترکیب اطلاعات سنسورها در شبکه های سنسوری بیان می گردد.

۱-۲) سنسورهای هوشمند و کاربرد آنها در شبکه های سنسوری

نقاط سنسورهای هوشمند، دارای انرژی محدود هستند. این نقاط سنسوری مجهز به یک یا چند سنسور، یک پردازشگر، یک منبع نیرو، یک رادیو ویک عملگر[۱۶] هستند. به منظور اندازه گیری ویژگی های محیطی، ممکن است محدوده گسترده ای از سنسورهای مکانیکی، حرارتی، بیولوژیکی، شیمیایی، نوری و مغناطیسی به نقطه سنسوری ضمیمه شده باشند. از آنجا که نقاط سنسورها دارای انرژی محدودی هستند و در موقعیت های غیرقابل دسترسی آرایش بندی شده اند، به یک رادیو مجهز شده اند تا داده ها را به مرکز[۱۷] انتقال دهند.

باتری یک منبع انرژی اصلی در یک نقطه سنسور است. منبع دوّم تهیهٔ انرژی که انرژی را از محیط می گیرد، می تواند سلول خورشیدی باشد. انتخاب نوع منبع انرژی وابسته به محیطی است که سنسورها در آن آرایش یافته اند.

---

[15] Micro Electro Mechanical

[۱۶] یک عملگر یک وسیلهٔ الکترو مکانیکی می باشد که به منظور کنترل اجزای مختلف یک سیستم استفاده می شود. در یک نقطهٔ سنسوری، عملگرها می توانند سبب به کار انداختن ابزارهای مختلف حس کننده شوند، پارامترهای سنسور را تنظیم کنند، موجب حرکت سنسور شوند و یا انرژی سنسور را در نقطهٔ سنسوری مشاهده کنند.

[۱۷] مرکز می تواند یک لب تاب، یک ابزار دستی شخصی و یا یک نقطهٔ دسترسی ساده باشد.

یک شبکهٔ سنسوری بی سیم(WSN)[۱۸] شامل تعدادی از نقاط سنسوری (چند ده تا هزاران سنسور) است که در حال کار با یکدیگرند تا اطلاعاتی از محیط به دست آورند. در حالت کلی دو نوع WSN وجود دارد:

۱) WSN ساخت یافته: در این نوع WSN ، تمامی یا بعضی از نقاط سنسوری در یک ساختار از پیش طراحی[۱۹] شده آرایش یافته اند. مزیت استفاده از چنین ساختاری در هزینهٔ مدیریت و نگهداری کمتر شبکه است. همچنین، به علّت آرایش خاص و هدفمند چنین ساختاری می توان با تعداد کم سنسورها تمام فضا را پوشش داد.

۲) WSN غیر ساخت یافته: این نوع WSN شامل یک مجموعهٔ متراکم از نقاط سنسوری است که در یک رفتار تصادفی[۲۰] آرایش یافته اند. در یک چنین ساختاری، نگهداری شبکه که می تواند مدیریت ارتباط و شناسایی خرابی های سیستم و غیره باشد، به علّت تعداد بسیار زیاد سنسورها دشوار است. همچنین احتمال وجود فضاهای پوشش نیافته در چنین ساختاری بسیار است.

شبکه های سنسوری بی سیم(WSN)، دارای کاربردهای بسیاری چون ردیابی هدف و تجسس های نظامی، کاهش وقایع و فجایع طبیعی، اکتشافت محیطی خطرناک و غیره هستند. برخلاف شبکه های قدیمی، یک WSN دارای محدودیت های طراحی و منبع است. محدودیت منبع، شامل انرژی محدود، محدوده ارتباطی کم، پهنای باند کوچک، پردازش و توانایی ذخیره سازی محدود در هر نقطه است. محدودیت های طراحی نیز بستگی به کاربرد و محیط مورد مشاهده دارد. محیط یک نقش اساسی در سایز شبکهٔ سنسوری، آرایش شبکه، توپولوژی و رویّه شبکه دارد.

WSN غیر ساخت یافته در کاربردهایی که محیط غیر قابل دسترسی است و یا شبکه متشکل از هزاران نقطه سنسوری است، به نوع ساخت یافتهٔ آن ارجحیّت دارد. موانع محیطی نیز می توانند ارتباط بین نقاط را محدود کرده و در نتیجه توپولوژی و یا اتصال شبکه را تحت تاثیر قرار دهند.

[18] Wireless Sensor Network

[۱۹] در آرایش از پیش تعیین شده مکان سنسورها در نقاط ثابتی از پیش مشخص می گردد.

[۲۰] در آرایش تصادفی یا ad-hoc، نقاط سنسوری به صورت رندوم در محیط مورد نظر قرار داه می شوند.

مروری بر مسایل کلیدی در WSNها

سنسورهای موجود در بازار شامل دو دسته نقاط هستند. نقاط عام[۲۱] و نقاط اتصال[۲۲]. نقاط سنسوری عام به جمع آوری اطلاعات از محیط در حال مشاهده می پردازند. این نقاط ممکن است مجهز به ابزارهای متفاوتی باشند که پدیده های فیزیکی متفاوتی چون نور، رطوبت، دما، فشار، سرعت، شتاب و غیره را اندازه گیری می کنند. نقاط اتصال نیز وظیفهٔ جمع آوری اطلاعات از نقاط عام را بر عهده داشته و این اطلاعات را به مرکز اصلی انتقال می دهند. ترکیب نقاط عام و نقاط اتصال، یک WSN را تشکیل می دهد.

برای به کار گیری سنسورها در شبکه های سنسوری بی سیم، مجهز نمودن آنها به مجموعه ای از مهارت ها و امکانات، امری ضروری محسوب می شود. این مهارت ها را می توان به سه دستهٔ گسترده تقسیم نمود (شکل۱-۱). هر سنسور بایستی بتواند به صورت سیستمی عمل کند که توانایی حمایت نرم افزارهای کاربردی مختلف، توسعه قالب ها و خط مشی های جدید، سیستم عامل های مختلف و رویّه های ذخیره کننده لازم را داشته باشد. در زمینه پروتکل های ارتباطی نیز، سنسور مورد استفاده بایستی بتواند با کاربر و سایر سنسورها ارتباطی مناسب و قابل قبول برقرار نماید. به علاوه، سنسورها باید مجهز به سرویس هایی باشند که به منظور بهبود توسعه عملکرد سیستم و بازدهی شبکه، استفاده می شوند.

در زمینه ملاحظات کاربردی و مدیریتی شبکه، آنچه اهمیّت دارد این است که نقاط شبکه سنسوری، توانایی خودسازماندهی دارند. به این معنا که نقاط سنسوری در شبکه می توانند متناوباً خودشان را کنترل و مدیریت نمایند. همچنین، از آنجا که نقاط سنسوری دارای قدرت و ظرفیت پردازش محدودی هستند، نیازمند پروتکل های ارتباطی و سرویس های مدیریتی جدید می باشند. تحقق لایه های مختلف پروتکل های ارتباطی در پشته پروتکل به صورت واضح و مشخصی بر روی مصرف انرژی، تاخیر و بازدهی سیستم، تاثیرگذار است. بنابراین بایستی پروتکل های جدید که از نظر انرژی کارآمد و موثر باشند، برای تمامی لایه های پشته پیشنهاد گردند.

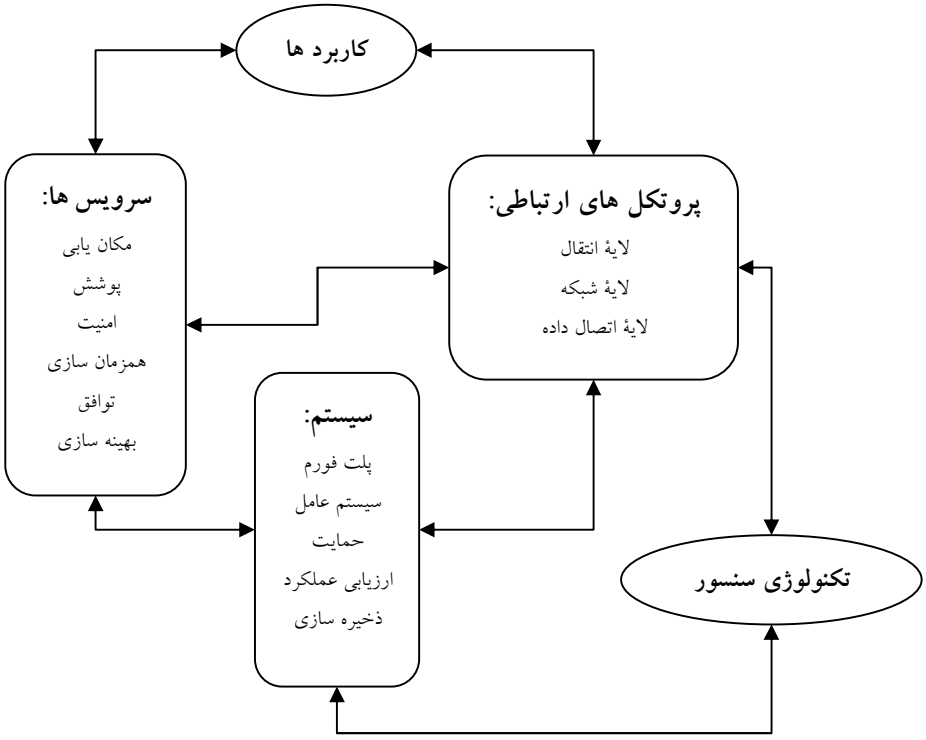
مسئله انرژی در شبکه های سنسوری از آن جهت اهمیّت فراوان دارد که سنسورها دارای انرژی محدود هستند و زمانی که از انرژی تخلیه شوند، از شبکه سنسوری جدا شده و تاثیرات مخرب فراوانی روی عملکرد شبکه خواهند گذاشت. بنابراین، همواره تمرکز خاصی بر روی حل مسئله انرژی و بهینه سازی

[21] Generic Nodes
[22] Gateway Nodes

مصرف آن بوده است. اما مسئله امیدوار کننده در این باره، قابلیت شارژ مجدد آنها با استفاده از سلول های خورشیدی، سلول های سوختی و ... است.

موضوع مهم دیگری که در ارتباط با ذخیره سازی انرژی نقاط سنسوری اهمیّت دارد، نحوه آرایش یا مکان یابی نقاط است به نحوی که آرایش پراکنده نقاط موجب افزایش مصرف انرژی می گردد.

در بخش بعد به بررسی نحوه ترکیب اطلاعات به دست آمده از شبکه سنسوری به منظور استفاده از آن در تخمین حالت های سیستم می پردازیم.



شکل۱-۱) دسته بندی کلی مسائل مختلف در WSN

۱-۳) روشهای ترکیب اطلاعات سنسورها [۱]

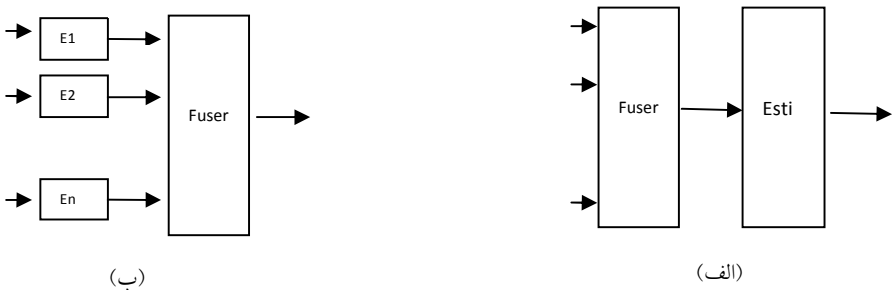
در این بخش، هدف بیان چگونگی ترکیب اطلاعات سنسورها به منظور استفاده از آنها در تخمین حالت های سیستم می باشد. برای روشن سازی بهتر موضوع، مسئله ردیابی زیر را در نظر می گیریم: یک هدف دینامیکی توسط N سنسور مجزا با دینامیک های اندازه گیری و خصوصیات نویزی متفاوت دنبال می شود. چگونه می توان اطلاعات سنسورها را ترکیب نمود به نحوی که تخمین به دست آمده از ترکیب اندازه گیری ها از تخمین به دست آمده از تک تک آنها بهتر باشد؟

رهیافت های بسیاری برای ترکیب دیتای سنسورها وجود دارد به نحوی که به سئوال فوق پاسخ داده شود. روشهای ترکیب اطلاعات در تخمین زننده حالت به دو صورت انجام می پذیرد :

۱)ترکیب بردار حالت ۲)ترکیب اندازه گیری ها

در سالهای اخیر این دو روش بسیار مورد مطالعه قرار گرفته اند. به عنوان مثال، شکل (۱-۲) این روش ها را در یک تخمین زننده حالت متمرکز[۲۳] نشان می دهد. همان طور که شکل (۱-۲-الف) نشان می دهد، روشهای ترکیب اندازه گیری، مستقیما اندازه گیری سنسورها را ترکیب کرده و به یک اندازه گیری ترکیب شده و یا وزن داده شده می رسند و سپس از یک تخمین زننده برای محاسبه تخمین حالت نهایی استفاده می شود در حالی که در روشهای ترکیب بردار حالت، از یک گروه تخمین زننده ها که هر کدام به صورت جداگانه ای تخمین حالت را محاسبه می کنند، استفاده می شود و سپس نتیجه به دست آمده از آنها برای رسیدن به نتیجه ای بهتر با یکدیگر ترکیب می شوند (شکل (۱-۲-ب)).

روش ترکیب اندازه گیری ها در تخمین حالت عملکرد بهتری از خود نشان می دهد در حالی که روش ترکیب بردار حالت نیازمند محاسبات و هزینه ارتباطی کمتری است و از آنجا که قابلیت تحقق موازی را دارد، نسبت به خرابی مقاوم تر است. موضوع قابل ذکر در اینجا این است که روش ترکیب بردار حالت تنها زمانی که تخمین زننده ها سازگار باشند موثر است و این موضوع استفاده از این روشها را محدود می سازد. در بسیاری از کاربردهای عملی مانند ردیابی هدف، فرایندهای مورد بررسی اغلب غیرخطّی هستند. اگر تخمین زننده ها فیلتر کالمن باشند نیازمند خطّی سازی آنها هستیم. به علّت وجود خطای مدلسازی در این سیستم ها، معمولا این فیلترهای کالمن ناسازگار هستند. بنابراین، ترکیب اندازه گیری ها در این کاربردهای عملی ارجحیّت دارد.



شکل۱-۲) ترکیب اطلاعات جهت استفاده در تخمین حالت متمرکز

(الف) ترکیب اندازه گیری (ب) ترکیب بردار حالت

[23] Central