نشریه علمی‌ترویجی محاسبات نرم
شمارهٔ 4/ پاییز و زمستان 92/ صفحهٔ 26-35

دریافت مقاله:92/4/27
پذیرش مقاله: 93/3/3

ارائهٔ یک روش توزیع‌شدهٔ آشکارسازی خطا برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم

رضا رافع[1]، منا توتونچی[2]

[1] استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اراک، اراک، ایران
r-rafeh@araku.ac.ir
[2] کارشناس ارشد معماری کامپیوتر، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
mona.totonchy@yahoo.com

چکیده: با گسترش روزافزون شبکه‌های کامپیوتری و با توجه به نظارت و کنترل از راه دور سیستم‌های ارتباطی، شبکه‌های حسگر بی‌سیم مورد توجه واقع شده‌اند. عملکرد صحیح این شبکه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به بی‌سیم بودن شبکه‌های حسگر، احتمال بروز خطا در این شبکه‌ها بسیار زیاد است؛ بنابراین، یکی از موضوعات تحقیقاتی، بررسی آشکارسازی خطا در این شبکه‌ها می‌باشد. تاکنون روش‌های آشکارسازی خطای متفاوتی پیشنهاد شده است که از بین آن‌ها روش توزیع‌شده اهمیت ویژه‌ای دارد. روش‌های توزیع‌شده نسبت به سایر روش‌ها از نظر پارامترهای عمر شبکه و مقیاس‌پذیری، بهتر عمل می‌کنند. در این مقاله، یک روش توزیع‌شدهٔ آشکارسازی خطا ارائه شده که با درنظرگرفتن درجهٔ اعتماد گره‌ها، مشکل انحراف داده‌ای حسگرها و وقوع خطاهای گذرا را برطرف می‌کند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه، از نرخ صحت آشکارسازی بالاتر و نرخ هشدار اشتباه کمتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تحمل‌پذیری خطا، آشکارسازی خطا.

1. مقدمه

یکی از مباحث مطرح‌شده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، تحمل‌پذیری خطا می‌باشد. خطا وضعیت نادرست سخت‌افزاری و نرم‌افزاری است که به‌دنبال آن، شکست در اجزای[1] حسگر رخ می‌دهد. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، امکان وقوع انواع مختلف خطاها وجود دارد. مسئلهٔ مهمی که در مورد خطا وجود دارد، این است که این نوع شبکه‌ها بتوانند در مقابل خطا تحمل‌پذیر باشند و در صورت رخ‌دادن خطا به کار خود ادامه دهند.

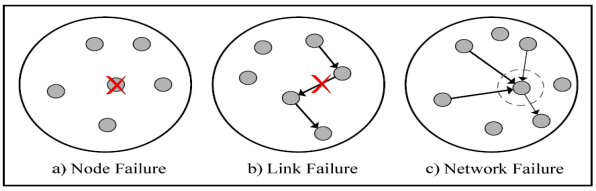
لازمهٔ تحمل‌پذیری خطا، آشکارسازی خطا است تا بتوان پس از آشکارسازی، آن را ترمیم کرد. تاکنون روش‌های مختلفی برای آشکارسازی خطا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه شده است که هریک دارای مزایا و معایبی هستند؛ ازجمله این روش‌ها می‌توان روش مبتنی بر میانه وزن‌دار (WMFDS[2]) [1] را نام برد که در آن، حسگرها به‌صورت تصادفی با توپولوژی گرید در یک ناحیه پخش شده‌اند. حسگرها با همسایه‌های خود در ارتباط هستند. پس هر گره به‌طور مداوم و منظم، دادهٔ اندازه‌گیری‌شده‌اش را به تمام همسایه‌های خود ارسال می‌کند. در این روش، به هر گره موجود در شبکه، وزنی اختصاص داده می‌شود که نشان‌دهندهٔ اعتماد به آن گره است. این روش برای محیط‌های پویا و توزیع‌شده مناسب است.

در روش مبتنی بر میانهٔ وزن‌دار، تمهیدی برای خطای گذرا در نظر گرفته نشده است و در صورت بروز خطای گذرا، اعتماد به گره کاهش می‌یابد و آن گره حتی در صورت سالم‌بودن، نقش کمتری را در تصمیم‌گیری دارد. هدف از این مقاله، ارائهٔ یک روش آشکارسازی خطا مبتنی بر روش میانهٔ وزن‌دار است که بتواند مشکلات موجود در آن، ازجمله عدم مدیریت مناسب خطاهای گذرا را برطرف کند.

ادامهٔ مقاله به این صورت سازمان یافته است. در بخش 2، انواع خطا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم توضیح داده خواهد شد. بخش 3 به مرورِ روش‌های آشکارسازی خطا می‌پردازد. در بخش 4، روش میانهٔ وزن‌دار با جزئیات بیشتری توضیح داده می‌شود. روش پیشنهادی در بخش 5 شرح داده می‌شود و در بخش 6، مورد ارزیابی واقع می‌شود. در نهایت، بخش 7 به نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای کارهای آتی می‌پردازد.

2. انواع خطادر شبکه‌های حسگر بی‌سیم

به‌طور کلی، خطا[3] در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در نتیجهٔ یک خرابی[4] سخت‌افزاری یا نرم‌افزاری به‌وجود می‌آید. مهم‌ترین این خرابی‌ها عبارت‌اند از: عدم کارکردن گره‌ها، خرابی در لینک و تراکم شبکه [2]. شکل (1) انواع خطاها را در شبکه‌های حسگر بی‌سیم نمایش می‌دهد.



شکل (1): انواع خطاها در شبکه‌های حسگر بی‌سیم [2]

خطاهای ایجادشده در شبکه‌های حسگر بی‌سیم را براساس میزان پایداری می‌توان به چهار دستهٔ خطای گذرا، خطای متناوب، نویز و خطای دائمی تقسیم‌بندی کرد:

- خطای گذرا[5]: خطای گذرا یک خطای موقتی است که در یک دورهٔ زمانی بسیار کوتاه رخ می‌دهد و گره‌ها می‌توانند به‌طورخودکار خودشان را ترمیم کنند. خطای گذرا به‌علت تغییرات محیطی موقت ایجاد می‌شود؛ مانند عبور یک وسیلهٔ نقلیه.
- خطای متناوب[6]: خطای متناوب در مقایسه با خطای گذرا در دورهٔ زمانی طولانی‌تری رخ می‌دهد؛ به‌عبارت دیگر، پیشامد مکرر خطای گذرا است؛ همانند خطای گذرا سیستم می‌تواند خطای متناوب را با مکانیسم‌های خاصی تحت پوشش قرار دهد.

1. Component
2. Weighted-Median Based Distributed Fault Detection for Wireless Sensor Network
3. Failure
4. fault
5. Transient Fault
6. Intermittent Fault

- خطای نویز: در این نوع خطا واریانس خواندن حسگر افزایش می‌یابد. برخلاف خطای گذرا که تنها بر روی یک مقدار خوانده‌شده در هر زمان اثر می‌گذارد، خطای نویز بر روی بعضی از مقدارهای خوانده‌شدهٔ متوالی تأثیر می‌گذارد.
- خطای دائمی (ثابت)[1]: خطای دائمی به‌صورت خطای پایدار و پیوسته در زمان ایجاد می‌شود. این نوع خطا ممکن است به‌علت خرابی گره رخ دهد.

3. روش های آشکارسازی خطا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

روش‌های آشکارسازی خطا در شبکه‌های حسگر بی‌سیم به سه دسته کلی به شرح زیر تقسیم می‌شوند.

1.3. روش خودتشخیصی خطا

در این روش، از یک گره انتظار می‌رود تا پس از بررسی توانایی‌های خود، بتواند تحلیلی از شرایط فیزیکی خود داشته باشد. در روش آشکارسازی خطای باطری، هر گره حسگر، ولتاژ باطری خود را اندازه می‌گیرد و با تحلیل خمیدگی تخلیه و سرعت تخلیه ولتاژ باطری، یک برآورد از زمان پایانی طول عمر باطری به‌دست می‌آورد. در روش آشکارسازی خطای حاصل از برخوردها یا ناصحیح‌بودن موقعیت فیزیکی گره [5]، هر گره امکاناتی برای تعیین موقعیت خود دارد که به‌کمک آن، می‌تواند خطا را آشکار کند.

2.3. روش توزیع‌شده

هدف این روش‌ها قادرساختن یک گره به اتخاذ تصمیم در سطوح مختلف است. هرچه گره حسگر توانایی اتخاذ تصمیم‌های بیشتری داشته باشد، اطلاعات کمتری نیاز است تا به گره مرکزی ارسال شود. در نتیجه، این روش‌ها انرژی گره را حفظ می‌کنند و به‌دنبال آن، باعث افزایش عمر شبکه می‌شوند. روش‌های توضیح‌شده خود به چند دسته تقسیم می‌شوند که در ادامه، توضیح داده می‌شود.

1. Permanent Fault

1.2.3. آشکارسازی خطا با مشارکت همسایه‌ها

در این روش‌ها، گره‌ها برای آشکارسازی گره مشکوک، قبل از مشورت با گره مرکزی با همسایگان خود مشورت می‌کنند. گره مرکزی معمولاً تا زمانی که گره آشکارساز با همسایگان خود به توافق نرسیده باشد، از وجود خطا باخبر نمی‌شود. این روش‌ها باعث کاهش پیام‌های ارتباطی و ذخیرهٔ انرژی گره حسگر می‌شود. به‌طور کلی، روش‌های آشکارسازی خطا با مشارکت همسایه‌ها به دو دسته روش‌های وزن‌دار و بدون وزن تقسیم می‌شوند؛ ازجمله روش‌های وزن‌دار، می‌توان به روش آشکارسازی خطای توزیع‌شده براساس میانگین وزن‌دار [8]، روش آشکارسازی خطای توزیع‌شده مبتنی بر میانهٔ وزن‌دار [1] و روش آشکارسازی خطای توزیع‌شده مبتنی بر آلودگی حسگر [9] اشاره کرد. روش میانهٔ وزن‌دار در بخش 4 مفصل‌تر توضیح داده می‌شود. روش ارائه‌شده در [9] از قضاوت نادرست حسگر استفاده شده، در نتیجه اعتماد حسگر کاهش می‌یابد.

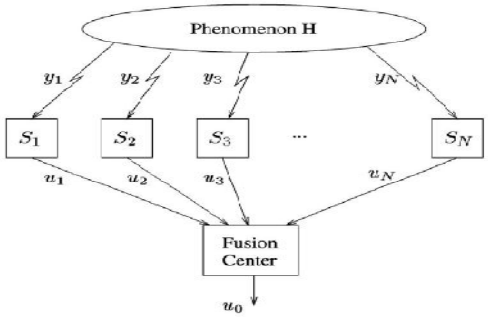
ازجمله روش‌های بدون وزن می‌توان به روش آشکارسازی خطا براساس تشخیص یک گره حسگر سال [10] نام برد که در آن، هنگامی که نیمی از گره‌های همسایه، تفاوت زیادی با آن گره داشته باشند، آن گره به‌عنوان خطادار شناسایی می‌شود. روش [10] در [11و12] بهبود یافته است. در این روش‌ها زمانی که تعداد گره‌های همسایه کم باشد، قابلیت آشکارسازی خطا وجود دارد.

در [1، 8 و9] روشی برای رفع مشکل خطای گذرا ارائه نشده است. روش‌های آشکارسازی خطا [10-12] خطای گذرا را تشخیص می‌دهند؛ اما سربار قابل ملاحظه‌ای به‌دلیل حجم بالای تبادل اطلاعات، میان همسایه به‌وجود می‌آید.

2.2.3. آشکارسازی خطا به‌وسیلهٔ مراکز تصمیم

در این روش‌ها یک گره با مقایسهٔ مقادیر خوانده‌شده از یک گره حسگر با داده‌های ترکیب‌شده مجموعه‌ای از گره‌ها متوجه غیر نرمال بودن آن گره می‌شود. در شکل (2)، آشکارسازی خطا در مراکز تصمیم نمایش داده شده است. ازجمله روش‌های آشکارسازی خطا به‌وسیلهٔ مراکز تصمیم می‌توان روش‌های

متوسط‌گیری در مراکز تصمیم و رأی‌گیری[1] اکثریت[2] [13] را نام برد.



شکل (2): آشکارسازی خطا در مراکز تصمیم [3]

3.2.3. آشکارسازی خطا به‌وسیلهٔ خوشه‌بندی

در این روش‌ها یک ستون فقرات در نظر گرفته می‌شود و کل شبکه به خوشه‌هایی تقسیم می‌شود. شبکهٔ حسگر خوشه‌بندی‌شده شامل دو نوع حسگر است. یک نوع از این حسگرها که قدرتمند و تعداد آن‌ها کم است، به‌عنوان گره‌های سرخوشه[3] در نظر گرفته می‌شوند و بقیهٔ حسگرها که از نظر توان ضعیف‌ترند، به‌عنوان اعضای خوشه[4] به‌کار گرفته می‌شوند. تمام اعضای خوشه داده‌های حس‌شده را به سرخوشه، از طریق گره‌های عضو درون یک خوشه ارسال می‌کنند. سرخوشه داده‌ها را از خوشه جمع می‌کند و داده‌های پردازش‌شده را به ایستگاه اصلی ارسال می‌کند. معمولاً گره سرخوشه آشکارسازی خطا را در گروهش با به‌کارگیری یک رویکرد متمرکز اجرا می‌کند. روش آشکارسازی خطا مبتنی بر پروتکل TDMA [2] ، روش آشکارسازی خطا مبتنی بر قابلیت اعتماد به حسگرها [14] از خوشه‌بندی استفاده می‌کنند.

4.2.3. مقایسهٔ روش‌های آشکارسازی خطای توزیع‌شده

روش‌های توزیع‌شدهٔ متفاوتی برای آشکارسازی خطای توزیع‌شده در مقالات مختلف ارائه شده است که هریک دارای مزایا و معایب مختلفی هستند که در جدول (1)، به‌صورت خلاصه نشان داده شده است [15-16].

جدول (1): . انواع روش‌های آشکارسازی خطای توزیع‌شده و مزایا و معایب آن‌ها

روش	مزایا و معایب
آشکارسازی خطا با مشارکت همسایه‌ها	مزایا: کاهش پیام‌های ارتباطی و ذخیرهٔ انرژی گره حسگر معایب: گره مرکزی معمولاً تا زمانی که گره آشکارساز با همسایگان خود به توافق نرسیده باشد، از وجود خطا باخبر نمی‌شود؛ در نتیجه، دارای تأخیر است.
آشکارسازی خطا به‌وسیلهٔ مراکز تصمیم	مزایا: وجود مرکز تصمیم‌گیرنده میزان مزایا: صحت تشخیص خطا را افزایش می‌دهد. معایب: عدم توازن بار و پیچیدگی مرکز تصمیم
آشکارسازی خطابوسیله خوشه‌بندی	مزایا: کاهش سربار و تقسیم بار بین سرخوشه‌های متفاوت معایب: پیچیدگی فرایند تشکیل خوشه

3.3. روش‌های متمرکز

در این روش‌ها یک گره حسگر از لحاظ منطقی یا جغرافیایی، مدیریت کل شبکه را بر عهده دارد. این گره (گره مرکزی) معمولاً دارای منابع نامحدود است و قادر به اجرای بخش وسیعی از مسئولیت‌های مدیریتی می‌باشد. گره مرکزی معمولاً از مدل آشکارسازی دوره‌ای استفاده کرده، تقاضاهایی را به‌منظور بازیابی حالات عملکرد شبکه برای گره‌های حسگر ارسال می‌کند و از اطلاعات به‌دست‌آمده جهت آشکارسازی خطا استفاده می‌کند. روش متمرکز برای گره‌های زیاد کاربردی نیست. از روش‌های متمرکز می‌توان روش‌های مبتنی بر توافق[5] [6] و روش‌های مبتنی بر [7] [7]WinMs[6]را نام برد.

4.3. مقایسهٔ روش‌های آشکارسازی خطا

انواع روش‌های آشکارسازی خطا که پیش‌تر معرفی شد، در [15-16] مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته‌اند و نتایج مقایسهٔ جدول (2) آماده است.

1. Voting
2. k out of n
3. Cluster head
4. Cluster member
5. Sympathy
6. Wireless Sensor Network-Management System

4. روش میانهٔ وزن‌دار

با توجه به بررسی روش‌های آشکارسازی خطا در بخش 3-4، دیده می‌شود که روش توزیع‌شده از نظر پارامترهای سربار انتقالی و مقیاس‌پذیری، بهتر است. در روش‌های مبتنی بر خوشه‌بندی، به این علت که انرژی زیادی در سرخوشه‌ها مصرف می‌شود، عمر سرخوشه‌ها کم است و به‌طور مرتب، باید در شبکه خوشه‌بندی مجدد انجام شود. در روش‌های مبتنی بر مراکز تصمیم، ترافیک داده‌ای به مرکز تصمیم زیاد است.

روش مبتنی بر میانهٔ وزن‌دار [1] یکی از روش‌های توزیع‌شده مبتنی بر مشارکت همسایگان است. در این روش، هر گره برای تشخیص خطای خود، قبل از مشورت با گره مرکزی با همسایگانش مشورت می‌کند. اگر اختلاف دادهٔ حس‌شده توسط گره با میانهٔ وزن‌دار داده‌های گره‌های همسایه اختلاف زیادی داشته باشد، گره خود را به‌عنوان یک گره خطادار به گره مرکزی معرفی می‌کند؛ بنابراین، گره مرکزی معمولاً وقتی از وجود خطا باخبر می‌شود که گره مشکوک با همسایگان خود به توافق رسیده باشد. این روش باعث کاهش پیام‌های ارتباطی و ذخیرهٔ انرژی گره حسگر می‌شود.

جدول(2): انواع روش‌های آشکارسازی خطا و مزایا و معایب آن‌ها

انواع روش‌ها	پیچیدگی روش	سربار انتقالی	قیمت گره حسگر	مقیاس‌پذیر	تعداد پیام‌های ارسالی
خودتشخیصی خطا	متوسط	متوسط	زیاد	متوسط	متوسط
آشکارسازی خطا به‌صورت متمرکز	زیاد	زیاد	کم	کم	زیاد
آشکارسازی خطا به‌صورت توزیع‌شده	کم	کم	کم	زیاد	کم

در این روش، دادهٔ اندازه‌گیری‌شدهٔ حسگر iام با x_i و تعداد همسایگانش با N_i همسایه نشان داده می‌شود. هر گره i دارای وزن λ_i است که λ_i یک عدد صحیح مثبت است و نشان‌دهندهٔ درجهٔ اعتماد به آن گره می‌باشد. هر حسگر داده اندازه‌گیری‌شده را به‌طور منظم، به تمام همسایگان خود ارسال می‌کند. در جدول (3)، پارامترها و نمادهای استفاده‌شده در روش میانهٔ وزن‌دار، نشان داده شده است.

مراحل روش میانهٔ وزن‌دار به شرح زیر است:

1. مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ حسگر x_i را به‌دست آورده، درجه اعتماد λ_j تمام N_i همسایهٔ حسگر محاسبه می‌شود (در ابتدا درجه اعتماد تمام حسگرها برابر λ_{max} در نظر گرفته می‌شود).
2. مقادیر اندازه‌گیری‌شدهٔ همسایه‌ها به‌صورت صعودی مرتب می‌شود.
3. هر مقدار اندازه‌گیری‌شدهٔ x_j به تعداد وزن λ_j متناظر، تکرار می‌شود.

$$\lambda_j \Diamond x_j = \underbrace{x_j, \ldots, x_j}_{\lambda_j \text{ بار}} \quad (1)$$

4. ارزش میانهٔ وزن‌دار $\hat{x}_i$ با به‌کارگیری رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود.

$$\hat{x}_i = MED\left\{ \lambda_j \Diamond x_j \,\middle|\, \begin{matrix} N \\ j=1 \end{matrix} \right\} \quad (2)$$

$f(x_i, \hat{x}_i)$ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

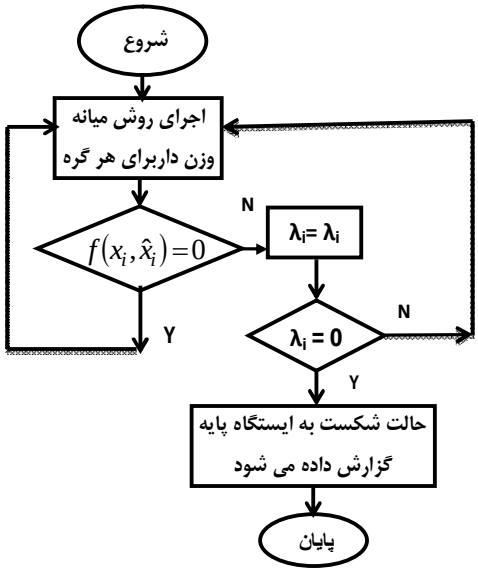
$$f(x_i, \hat{x}_i) = \begin{cases} 1 & \text{if} \quad \left| \dfrac{x_i - \hat{x}_i}{\hat{x}_i} \right| > \varepsilon \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases} \quad (3)$$

جدول (3): نمادهای استفاده‌شده در روش میانهٔ وزن‌دار

P	احتمال شکست حسگر
N	تعداد گره‌های همسایه
n_i	حسگر i ام شبکه
x_i	اندازه‌گیری حسگر n_i
λ_i	درجه اعتماد حسگر iام
λ_{max}	درجه اعتماد اولیهٔ حسگر
ξ	محدود تحمل خطای حسگر
$\hat{x}_i$	میانهٔ وزن‌دار اندازه‌گیری‌های حسگر n_i

ε در کاربردهای شبکهٔ حسگر بی‌سیم یک مجموعه از نرخ‌های تحمل خطای اندازه‌گیری حسگر است که مقدار آن یک آستانهٔ از قبل تعیین‌شده می‌باشد. اگر $f(x_i,\hat{x}_i)=1$ گره i دچار خطا شده و درجه اعتماد آن یک واحد کم می‌شود وگرنه داده‌ها را به‌طور درستی حس کرده است. درصورتی‌که درجه اعتماد یک گره صفر شود، آن گره به‌عنوان یک گره خطادار معرفی می‌شود. مراحل اجرای این الگوریتم در شکل (2) نشان داده شده است.

شکل (2): روند نمای روش میانه وزن دار



مهمترین مشکل روش میانه وزن‌دار عدم مدیریت مناسب خطاهای گذرا بر روی گره است که باعث کاهش درجه اعتماد حسگر می‌شود.

5. روش پیشنهادی

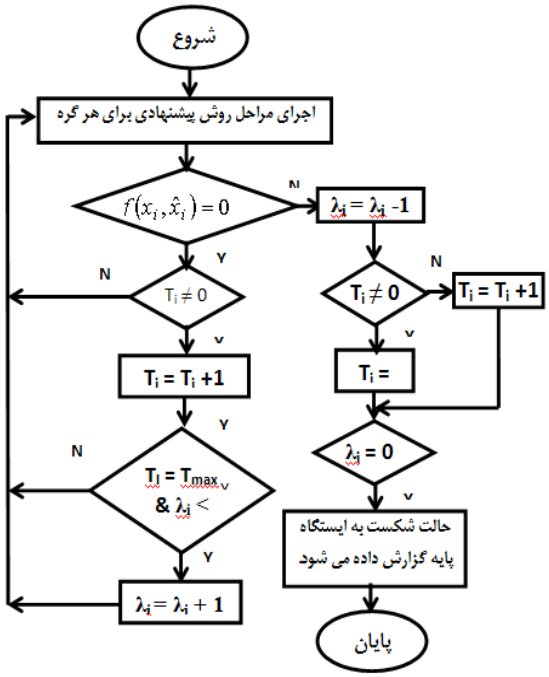
روش پیشنهادی مبتنی بر مشارکت همسایگان است. الگوریتم پیشنهادی بر مبنای سه اصل زیر طراحی شده است:

۱. قابلیت وزن‌دهی به حسگرها.

۲. صحت آشکارسازی و احتمال هشدار اشتباه بهتر در مقایسه با روش‌های توزیع‌شدهٔ موجود.

۳. مناسب بودن برای رفع مشکل انحراف داده‌های حسگر از مقدار واقعی‌شان با گذشت زمان[1].

در روش پیشنهادی فرضیات الگوریتم همانند الگوریتم میانه وزن‌دار است با این تفاوت که برای رفع مشکل خطای گذرا یک متغیر Ti برای هر حسگر تعریف می‌شود که نشان‌دهندهٔ تعداد مراحلی است که خطا تکرار نشده است . متغیر Ti در ابتدای کار با صفر مقداردهی می‌شود. اگر خطای گذرا رخ دهد λi کاهش می‌یابد و پس از گذشت یک بازهٔ زمانی (Tmax Tmax نمی‌تواند خیلی کم باشد؛ زیرا خطای متناوب را به اشتباه خطای گذرا در نظر می‌گیرد، همچنین Tmax نمی‌تواند خیلی بزرگ باشد؛ زیرا خطای گذرا را تشخیص نمی‌دهد و درجه اعتماد حسگر کاهش می‌یابد)، اگر گره دوباره دچار خطا نشود، λi گره یک واحد افزایش داده می‌شود تا اثر خطای گذرا برروی λi از بین برود؛ درنتیجه، اثر سوء خطای گذرا بر روی درجهٔ اعتماد حسگرها کاهش می‌یابد. شکل (3) مراحل روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل (3): روند نمای روش پیشنهادی

[1] - drift

6. ارزیابی روش پیشنهادی

برای ارزیابی روش پیشنهادی از دو پارامتر میزان صحت آشکارسازی و میزان هشدار اشتباه استفاده شده است که در ادامه، این پارامترها به اختصار توضیح داده می‌شوند.

- صحت آشکارسازی[1] یا میزان صحت آشکارسازی (CDR)[2]

میزان صحت آشکارسازی نسبت تعداد حسگرهای مشکل‌دار آشکارسازی‌شده به تعداد کل تعداد حسگرهای مشکل‌دار موجود در ناحیه است. صحت آشکارسازی از فرمول زیر محاسبه می‌شود و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، بهتر است [1]:

$$CDR=\frac{\alpha}{Np} \quad (4)$$

α= تعداد حسگرهای مشکل‌دار شناسایی‌شده

N= تعداد کل گره‌های حسگر موجود در شبکه

P= احتمال خطادار‌بودن یا مشکل‌دار بودن کل حسگرها

- احتمال هشدار اشتباه (FAR)[3] یا میزان هشدار اشتباه

میزان هشدار اشتباه نسبت تعداد گره‌های بدون مشکلی است که به‌عنوان گره مشکل‌دار معرفی شده است به تعداد کل گره‌های بدون مشکل در ناحیه. احتمال هشدار اشتباه طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد، بهتر است [1و8]:

(5)

β= تعداد حسگرهای نرمال شناسایی‌شده به‌عنوان حسگر مشکل‌دار

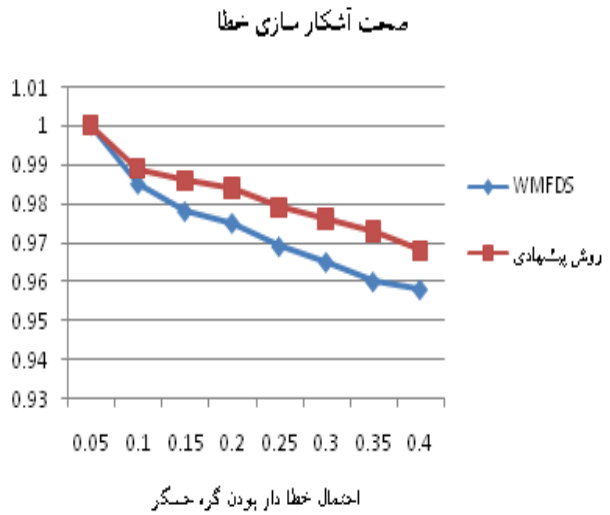
N= تعداد کل گره‌های حسگر موجود در شبکه

P= احتمال خطادار بودن یا مشکل‌دار بودن کل حسگرها

در الگوریتم پیشنهادی فرض می‌شود حسگرها به‌صورت تصادفی در یک ناحیه پخش شده‌اند و با همسایه‌های خود در ارتباط هستند. دادهٔ هر گره به‌طور مداوم و منظم، اندازه‌گیری شده به تمام همسایه‌ها ارسال می‌شود. فرض شده گره‌ها در محیطی به مساحت 100×100 با توپولوژی گرید پخش شده‌اند.

برای شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی از نرم‌افزار MATLAB 7.8 استفاده شده است. تعداد کل گره‌های حسگر 100 گره و محدودهٔ تحمل‌پذیری خطا (ξ) 0.2 و همچنین T_{max} ، 4 فرض شده است. فرض شده احتمال خطای گذرا 0.05 است.

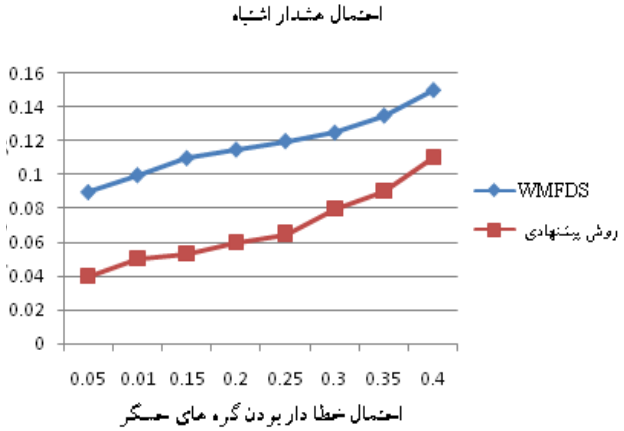
شکل‌های (4) و (5) به‌ترتیب، میزان صحت آشکارسازی خطا و میزان هشدار اشتباه را در الگوریتم پیشنهادی با روش میانهٔ وزن‌دار مقایسه می‌کند. نتایج شبیه‌سازی بعد از 100 بار آزمایش برای مقادیر مختلف احتمال خطا به‌دست آمده است. هرچه میزان خطای گره کمتر باشد، تعداد گره‌های خطادار کمتری وجود دارد و میزان صحت آشکارسازی بالاتر می‌رود. با افزایش خطا، تعداد گره‌های خطادار بیشتر می‌شود و میزان صحت آشکارسازی کاهش می‌یابد.



شکل (4): مقایسهٔ صحت آشکارسازی روش پیشنهادی و روش میانهٔ وزن‌دار

با مشاهدهٔ شکل (4) به این نتیجه می‌رسیم که در روش پیشنهادی، با افزایش احتمال خطا نرخ صحت آشکارسازی نسبت به روش میانه وزن‌دار بهتر است؛ زیرا در روش‌های پیشنهادی اثر خطای گذرا حذف شده است و هر گاه که خطای گذرا رخ دهد، اثر مخرب خطای گذرا با افزایش λ از بین می‌رود؛ بنابراین، درجه اعتماد حسگرها به مقدار واقعی آن‌ها نزدیک‌تر می‌شوند و گره معیوب به درستی شناسایی می‌شود.

1. Detection accuracy
2. Correct Detection Rate
3. False alarm probability



شکل (5): مقایسهٔ احتمال هشدار اشتباه روش پیشنهادی و روش میانهٔ وزن‌دار

خطای گذرا بر روی احتمال هشدار اشتباه اثر بیشتری می‌گذارد؛ زیرا خطای گذرا باعث می‌شود که تعداد گره‌های نرمالی که به‌عنوان گره‌های خطادار معرفی می‌گردند، افزایش یابد. در روش پیشنهادی، به‌علت افزایش مقدار یک واحدی λ در صورت بروز خطای گذرا، درجه اعتماد حسگرها به مقدار واقعی آن‌ها نزدیک‌تر می‌شود و تعداد گره‌هایی که به‌عنوان گره خطادار به‌صورت نادرست تشخیص داده می‌شوند، کاهش می‌یابد. در نتیجه طبق فرمول FAR، با کاهش تعداد گره‌های سالمی که به اشتباه خطادار تشخیص داده شده‌اند، صورت کسر کوچک شده، مقدار FAR هم کاهش می‌یابد. در نتیجه همان‌گونه که در شکل (5) دیده می‌شود، میزان هشدار اشتباه در روش پیشنهادی نسبت به روش میانهٔ وزن‌دار حدود 5% کمتر است.

7. نتیجه‌گیری و کارهای آینده

یکی از چالش‌های مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، آشکارسازی خطا در این شبکه‌ها می‌باشد. با آشکارسازی خطا در این شبکه‌ها می‌توان شبکه را در مقابل خطا تحمل‌پذیر کرد. در این مقاله، یک روش جدید آشکارسازی خطا مبتنی بر روش میانهٔ وزن‌دار ارائه شد که مشکل آن روش را در تشخیص خطای گذرا برطرف کرد. این روش برای محیط‌هایی با امنیت بالا که اعلام خطای نادرست می‌تواند شرایط بحرانی ایجاد کند، مناسب است. روش پیشنهادی دارای مزایای زیر است:

۱. در این روش، می‌توان بنا بر عملکرد ضعیف گره‌ها، وزن یا درجه اعتماد حسگر را کم کرد که در تصمیم‌گیری اثر کمتری داشته باشد.

۲. در این روش، نیاز به دانستن موقعیت فیزیکی گره‌ها نیست.

۳. آشکارسازی خطا را می‌توان هم برای مقادیر باینری و هم برای مقادیر پیوسته به‌دست آورد.

٤. این روش مقیاس‌پذیر است و می‌تواند برای شبکه‌های بزرگ به‌کار رود.

٥. این روش مناسب برای مشکل انحراف داده‌های حسگر از مقدار واقعی‌شان با گذشت زمان است. این مشکل در شبکه‌های حسگر بی‌سیم باعث می‌شود حسگرها مقداری بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی نشان دهند. با استفاده از روش میانه می‌توان از بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده، مقدار صحیح را استخراج کرد و نیاز به تعویض حسگرها نیست. در نتیجه عمر شبکه افزایش می‌یابد.

٦. در این روش، حتی زمانی که نیمی از همسایه‌ها مشکل‌دار هستند، هنوز هم می‌توان به‌طور موفقیت‌آمیز، اغلب حسگرهای مشکل‌دار را شناسایی کرد.

۷. روش پیشنهادی نسبت به روش آشکارسازی خطای مبتنی بر میانهٔ وزن‌دار در مقابل خطای گذرا تحمل‌پذیرتر است.

۸. روش پیشنهادی صحت آشکارسازی و احتمال هشدار اشتباه بهتری نسبت به آشکارسازی خطای مبتنی بر میانهٔ وزن‌دار دارد.

در عین حال، روش پیشنهادی آثار خطای متناوب را از بین نمی‌برد. برای ادامهٔ کار می‌توان موارد زیر را پیشنهاد کرد:

1. روش پیشنهادی در این مقاله، فقط از نظر خطای گذرا بررسی شده است؛ اما می‌توان برای کارهای آینده، آثار خطای متناوب را نیز بررسی کرد.

2. در این مقاله، گره‌های حسگر مشابه فرض شده‌اند. می‌توان محیط را به‌گونه‌ای در نظر گرفت که حسگرها دارای کیفیت متفاوت و سطح انرژی مختلف باشند.

3. می‌توان روش توزیع‌شده را با روش مبتنی بر خوشه‌بندی ترکیب کرد و به این ترتیب، چندین ایستگاه پایه ایجاد نمود. با این روش، مشکل تک‌نقطهٔ خطا در شبکه حذف می‌شود.

■

مراجع

[1] Jian-Liang,G., Yong-Jun,X., Xiao-Wei,L., "*Weighted-median based distributed fault detection for wireless sensor network*", Software, vol. 18, no. 5, pp. 1208-1217, 2007.

[2] Beyah, R., Mcnair,J., "*Corbett, Security in ad hoc and sensor setworks*", Computer and network security, World Scientific Publishing Company, Incorporated, 2009.

[3] Basile, C., Gupta, M., Kallbarczyk, Z., K.Iyer,R., "*An approach for detecting and distinguishing errors versus attacks in sensor networks*", in Proc of EDCC-6, 2006.

[4] Ni, K., Ramanathan, N., Nabil, M., Balzano, L.. Nair, S., Zahedi, S., Kohler, E., Pottie,G., Hansen, M. Srivastava,M., "*Sensor network data fault type*", *ACM Transactions on Sensor Networks*, vol 5, no 3,2009.

[5] Harte, S., Rahman, A., Razeeb, K. M., "*Fault tolerance in sensor networks using self-diagnosing sensor nodes*", in proc of *IE 05*, pp. 7-12, June 2005.

[6] Ramanathan, N., Chang, K. K., Kapur, R., Girod,L., Kohler, E., Estrin, D., "*Sympathy for the sensor network debugger*", SenSys 2005, pp. 255-267, 2005.

[7] Lee, W. L., Datta, A., Cardell-Oliver, R., "*WinMS: wireless sensor network-management system, an adaptive policy-based management for wireless sensor networks*", Tech. Rep. UWA-CSSE-06-001, The University of Western Australia, June 2006.

[8] Shen-Fang, S. J., Ting-huai, Y., Tan, M. C., "*Distributed fault detection for wireless sensor based on weighted average*", in Proc of NSWCTC'10, pp. 57-60, 2010.

[9] Jianliang, G., Yongjun, X., Xiaowei, L., "*Online distributed fault detection of sensor measurements*", Tsinghua Science and Technology, vol. 12, pp. 192-196, July 2007.

[10] Chen, J., Kher, S., Somani, A., "*Distributd fault detection of wireless sensor networks*", ACM DIWANS '06, pp. 65-72, 2006.

[11] Jiang, P., "*A new method for node fault detection in wireless sensor*", Sensors, vol. 9, no. 2, pp. 1282-1294, 2009.

[12] Shababi, M. Shababi, H., Hosseinpoor Feshki,S., Sadeghian, M., "*Faulty Sensor Detection for Wireless Sensor Networks*", International Journal of Computer & Information Technologies, vol 1, pp. 242-253, 2013.

[13] Luo, X., Dong,M., Huang, Y., "*On distributed fault-tolerant detection in wireless sensor networks*", IEEE Transaction on Computers, vol 55, no. 1, pp. 58-70, 2006.

[14] Sharifi, M., Taghikhaki, Z., "*A trust-based distributed data fault detection algorithm for wireless sensor networks*", in Proc of ICCIT, pp. 1-6, December 2008.

[15] Virmani, C., Garg, K., "*Comparative Study of Fault Management Algorithms in Wireless Sensor Networks"*, International Journal of Engineering Research & Technology, vol 1, May 2012**.**

[16] Kshirsagar, R.V., "*A Survey on Fault Detection and Fault Tolerance in Wireless Sensor Networks*", International Conference on Benchmark in Engineering Science and Technology, 2012**.**

[17] Mu-jing,J., Zhao.-wei,Q., "*Efficient Neighbor Collaboration Fault Detection in WSN*", The Journal of China Universities of posts and Telecommunications, vol 18, pp.118-121, 2011.

[18] Lee, M., Choi,Y., "Fault detection of wireless sensor networks", Computer Communications, vol. 31, no.14, pp. 3469-3475, 2008.