تأثیر خرابی آشکارسازهای محلی در یک شبکهٔ آشکارسازی

قاسم میر جلیلی — استادیاردانشکدهٔ برق، دانشگاه یزد
سیما عمادی — مربی دانشکدهٔ مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد

چکیده

در یک شبکهٔ آشکارسازی، برای افزایش کارایی و قابلیت اطمینان از تعدادی آشکارساز محلی استفاده می‌شود. این آشکارسازها بهطور مستقل در مورد وجود یا عدم وجود سیگنال هدف تصمیمگیری کرده و تصمیمهای خود را بهیک پردازندهٔ مرکزی ارسال می‌کنند. در مرکز با ادغام مناسب تصمیمهای رسیده، تصمیم نهایی گرفته می‌شود. در عمل، امکان خرابی هر یک از آشکارسازهای محلی وجود دارد که این مورد می‌تواند تأثیر بهسزایی برکارایی شبکه داشته باشد. در این مقاله، ضمن بررسی این تأثیرات، روابطی برای محاسبهٔ کمی تغییرات بهوجود آمده در کارایی شبکه بهدست آمده است. می‌توان نشان داد که میزان این تغییرات بهنوع خرابی و سطح آستانهٔ مرکز ادغام وابسته است، بهطوری که برای برخی از انواع خرابیها، احتمال هشدار غلط افزایش می‌یابد در حالی که برای برخی دیگر، احتمال آشکارسازی کاهش می‌یابد. همچنین برای نشان دادن نتایج، یک مثال عددی آورده شده است.

کلمات کلیدی: شبکههای آشکارسازی، مرکز ادغام، خرابی، کارایی.

The Effect of Faulty Local Detectors on a Detection Network

G. Mirjalily — Faculty of Elec. Eng., Yazd University
S. Emadi — Faculty of Eng., Islamic Azad University, Maybod Branch

Abstract

Distributed detection theory has received increasing attention recently. Deployment of multiple sensors for signal detection results in improved detection performance and increased reliability. In a detection network, each local sensor decides locally whether a signal is detected or not. The local decisions are sent to the fusion center, where the final decision is made. In this paper, a theoretic approach is considered to data fusion when one of the sensors is faulty. If the fusion center does not have any knowledge of this fault, the performance of the system is different than its nominal performance. The changes in the error probabilities depend on the type of the fault and on the threshold value of the fusion center test. We derived some expressions for the changes in the values of error probabilities. For some type of faults, the system false alarm probability increases significantly, whereas for some other faults, the system detection probability decreases significantly. To illustrate the results, a numerical example is also given.

Key words: Detection networks, Fusion center, Fault, Performance.

۱- مقدمه

نظریهٔ آشکار سازی توزیعی و استفاده از شبکههای آشکارسازی یکی از مسائل مهم تحقیقاتی بهشمار می‌آید[۳-۱] . در یک شبکهٔ آشکارسازی برای بهبود کارایی و افزایش قابلیت اطمینان از چندین آشکارساز محلی با موقعیتهای مکانی متفاوت استفاده می‌شود. این آشکارسازها بهطور موازی به یک مرکز ادغام متصل می‌شوند شکل (۱). هر آشکارساز محلی براساس مشاهدهٔ خود، در مورد وجود هدف (فرضیهٔ H_1) و یا عدم وجود هدف (فرضیهٔ H_0) تصمیمگیری و نتیجه را که یک بیت است، به مرکز ادغام ارسال می‌کند. در مرکز با ادغام مناسب تصمیمات رسیده، تصمیم نهایی گرفته می‌شود. از امتیازات این شبکه می‌توان به مواردی از قبیل: افزایش قابلیت اطمینان، افزایش سرعت آشکارسازی، مقاوم شدن در مقابل محو شدگی هدف و خرابیها، افزایش قابلیت انعطاف و تغییر آرایش و ... اشاره نمود [۴].

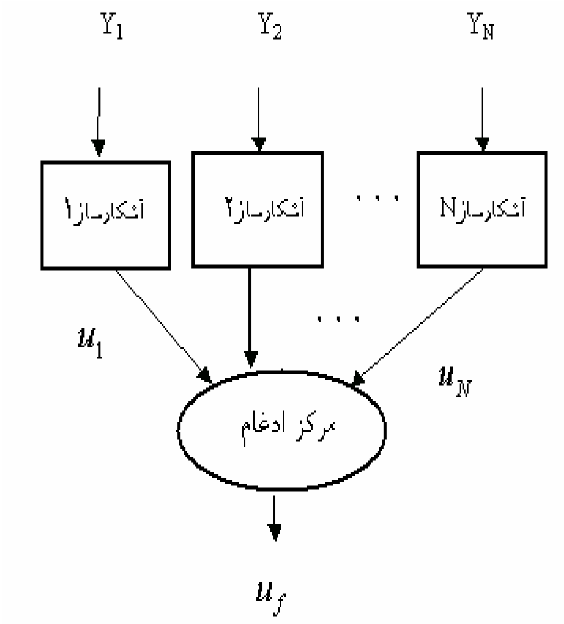
ساختار موضوعاتی که در ادامه می‌آید بدین قرار است: در بخش بعدی ضمن طرح مسئله مورد بحث، کمیتهای اساسی بهکار رفته در طول مقاله را تعریف می‌کنیم. در بخش (۳)، روابطی برای محاسبهٔ تأثیر خرابی یک آشکارساز بر کارایی شبکه ارائه خواهیم کرد. در بخش (۴)، نتایج را برای حالت خاصی که تمام آشکارهای شبکه دارای ساختاری یکسان باشند بسط می‌دهیم. برای تأکید بر نتایج تحلیلی بهدست آمده، در بخش (۵) یک مثال عددی ارائه کرده و نتایج را بهصورت نمودارهایی ارائه خواهیم کرد و بالاخره در بخش (۶) نتایج اساسی بهدست آمده در این مقاله را مرور می‌کنیم.

۲- بیان مسئله

شکل (۱) ساختار شبکهٔ آشکارسازی موردنظر را با N آشکارساز محلی نشان می‌دهد. در این شکل، Y_i بردار مشاهدهٔ دریافتی توسط آشکارساز iام و u_i خروجی این آشکارساز می‌باشد که در صورت تأیید وجود هدف $u_i = 1$ و در غیر اینصورت $u_i = 0$. u_f نیز تصمیم نهایی گرفته شده توسط مرکز ادغام می باشد.

اگر $U = (u_1, u_2, ..., u_N)$ بردار تصمیمها و D مجموعهٔ تمام حالات ممکن برای U باشد، قاعدهٔ تصمیمگیری در مرکز ادغام را می‌توان با تابع زیر نمایش داد [۵]:

$$\delta_f : D \rightarrow \{0,1\}$$



شکل ۱- ساختار یک شبکهٔ آشکار سازی

بهعبارت دیگر δ_f مجموعهٔ D را به دو مجموعهٔ D_0 و D_1 افراز می‌کند بهگونهای که $u_f = 0$ اگر $U \in D_0$ و $u_f = 1$ اگر $U \in D_1$. لذا اگر P_f و P_d بهترتیب نشان دهندهٔ احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی باشند، داریم [۶]:

$$p_d = p(u_f = 1 | H_1) = P(D_1 | H_1) \qquad (۱)$$

$$p_f = p(u_f = 1 | H_0) = P(D_1 | H_0) \qquad (۲)$$

حال فرض کنید آشکارساز kام خراب باشد، مجموعهٔ D را می‌توان به چهار زیر مجموعه D_{00}، D_{10}، D_{01} و D_{11} تقسیم کرد به گونهای که بنا به تعریف:

$$D_{ij} = \{U \in D_j ; u_k = i\} \; i, j = 0,1 \qquad (۳)$$

واضح است که $D_{00} \cup D_{10} = D_0$, $D_{01} \cup D_{11} = D_1$.

حال فرض کنید D_{ijm} بعنوان زیر مجموعهای از مجموعه D_{ij} بهصورت زیر تعریف شود:

$$D_{ijm} = \{U \in D_{ij} : if \ u_k \neq i \ \ then \ \ u_f = m\} \ i,j,m = 0,1 \quad (۴)$$

به‌بیان دیگر D_{ijm} شامل اعضایی از مجموعه D_j است که اگر $u_k = i$ آنگاه $u_f = j$ و اگر $u_k \neq i$ آنگاه $u_f = m$.
از طرفی می‌توان نشان داد که آزمون بهینه در مرکز ادغام، یک آزمون نسبت درست نمایی است [۷ و ۸] . همچنین می‌توان نشان داد که تابع نسبت درست نمایی یک تابع غیر کاهشی است بهاین معنا که اگر U_1 و U_2 دو بردار تصمیم با اعضای یکسان باشند بجز آنکه در اولی $u_k = 0$ و در دومی $u_k = 1$ آنگاه: $LR(U_1) < LR(U_2)$. که در آن LR تابع نسبت درستنمایی است [۹]. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که: $D_{101} = D_{010} = 0$.
با توجه بهتعاریف بالا، می‌توان احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی را بهصورت زیر نوشت:

$$p_f = p(D_{01}|H_0) + p(D_{11}|H_0) \quad (۵)$$

$$p_d = p(D_{01}|H_1) + p(D_{11}|H_1) \quad (۶)$$

۳- تأثیرات یک آشکارساز خراب برکارایی شبکه

حال می‌خواهیم تأثیر خرابی هر یک از آشکارسازهای محلی را بر کمیتهای فوق (احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی) نشان دهیم. این کار را در سه مرحله انجام می‌دهیم. در مرحلة اول فرض کنید k امين آشكارساز خراب باشد (با احتمال یک)، و همیشه مستقل از مشاهده دریافتی‌اش $u_k = 0$. در اینصورت $D_{0jm} = 0$ برای $j,m = 0,1$. در نتیجه احتمال هشدار غلط کلی در این حالت برابر است با:

$$\begin{aligned} p_{f0} &= p(D_{01}|H_0) + p(D_{101}|H_0) + p(D_{111}|H_0) \\ &= p(D_{01}|H_0) + p(D_{11}|H_0) - p(D_{110}|H_0) \\ &= p_f - p(D_{110}|H_0) \end{aligned} \quad (۷)$$

و به همین ترتیب احتمال هشدار غلط کلی برابر است با:

$$p_{d0} = p_d - p(D_{110}|H_0) \quad (۸)$$

به طریق مشابه می‌توان نشان داد در صورتی‌که همواره $u_k = 1$، احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی بهترتیب برابرند با:

$$p_{f1} = p(D_{001}|H_0) - p_f \quad (۹)$$

$$p_{d1} = p(D_{001}|H_1) - p_d \quad (۱۰)$$

در مرحلة دوم، فرض کنید تصمیم گرفته شده توسط آشکارساز خراب (مستقل از مشاهده دریافتی‌اش) با احتمال P، صفر و با احتمال $1-P$، یک باشد. در نتیجه با احتمال P، احتمالات هشدار غلط کلی و آشکارسازی کلی از روابط (۷) و (۸) و با احتمال $1-p$ از روابط (۹) و (۱۰) بهدست می‌آیند.
با ترکیب مناسب این روابط، احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی که در این حالت بهترتیب با p_{fp} و p_{dp} نشان داده می‌شوند، از روابط زیر بهدست می‌آیند:

$$p_{fp} = p_f + p(D_{001}|H_0) - P \times \left[p(D_{110}|H_0) + p(D_{001}|H_0)\right] \quad (۱۱)$$

$$p_{dp} = p_d + p(D_{001}|H_1) - P \times \left[p(D_{110}|H_1) + p(D_{001}|H_1)\right] \quad (۱۲)$$

در مرحلة سوم، حالت کلی را در نظر می‌گیریم یعنی فرض می‌کنیم با احتمال S، یکی از آشکارسازها خراب شود و در صورت خراب شدن، با احتمال p، تصمیم گرفته شده توسط این آشکارساز صفر و با احتمال $1-p$، یک باشد. در نتیجه، وقتی آشکارساز با احتمال S خراب باشد، احتمالات خطا از روابط (۱۱) و (۱۲) و وقتی آشکارساز با احتمال $1-S$ سالم باشد، احتمالات خطا تغییر نکرده و همان p_f و p_d خواهند

بود. لذا در این مرحله می‌توان احتمال هشدار غلط کلی را که با p_{fps} نشان می‌دهیم، بهصورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} p_{fps} &= (1-S)p_f + (S)p_f + (S)p\left(D_{001}\middle|H_0\right) \\ &\quad -(SP)\left[p\left(D_{110}\middle|H_0\right) + p\left(D_{001}\middle|H_0\right)\right] \\ &= p_f - (SP)p\left(D_{110}\middle|H_0\right) \\ &\quad + S(1-P)p\left(D_{001}\middle|H_0\right) \end{aligned} \qquad (۱۳)$$

و بهطریق مشابه می‌توان احتمال آشکارسازی کلی را بهصورت زیر نوشت:

$$p_{dps} = p_d - (SP)p\left(D_{110}\middle|H_1\right) + S(1-P)p\left(D_{001}\middle|H_1\right) \qquad (۱۴)$$

از روابط فوق می‌توان برای محاسبة تغییرات بهوجود آمده در کارایی یک شبکة آشکارسازی ناشی از خرابی هریک از آشکارسازهای محلی استفاده کرد. همانطور که مشخص است این تغییرات بهاحتمال وقوع مجموعه‌های D_{110} و D_{001} وابسته است که این مجموعه‌ها نیز خود به عواملی همچون سطح آستانة مرکز ادغام و احتمالات خطای آشکارسازها وابسته‌اند.

در بخش بعدی، مسئله را در حالت خاصی که کلیة آشکارسازهای شبکه یکسان باشند، مورد بررسی قرار داده و روابط فوق را بسط خواهیم داد.

۴- شبکه‌ای با آشکارسازهای یکسان

در این بخش، تأثیر آشکارساز خراب را برکارایی شبکه‌ای با آشکارسازهای یکسان بررسی می‌کنیم. در این شبکه، احتمال هشدار غلط و احتمال آشکارسازی کلیة آشکارسازها یکسان فرض می‌شوند. بهعبارت دیگر اگر α_i و β_i بهترتیب احتمال هشدار غلط و احتمال آشکارسازی iامین آشکارساز باشند:

$$\alpha_i = \alpha, \beta_i = \beta \quad i = 1,\ldots,N.$$

می‌توان نشان داد که در این حالت خاص، قاعدة ادغام بهینه تصمیمات بهصورت زیر است [۱۰]:

$$u_f = \begin{cases} 1 & if\ \ i \geq n \\ 0 & if\ \ i < n \end{cases} \qquad (۱۵)$$

که در آن i تعداد آشکارسازهایی است که تصمیم یک را گرفته‌اند و n یک عدد صحیح ثابت است بهطوری که $1 \leq n \leq N$. در عمل معمولاً n برابر با نزدیکترین عدد صحیح بزرگتر از $\frac{N}{2}$ انتخاب می‌شود، اصطلاحاً به این قاعدة ادغام، قاعدة اکثریت گویند. این قاعده بدین صورت است که اگر از N آشکارساز موجود، حداقل نیمی از آنها فرضیة H_1 را تأیید کنند آنگاه مرکز ادغام نیز آن را تأیید خواهد کرد و در غیر این صورت فرضیة H_0 تأیید می‌شود [۱۱]. بنابراین با توجه بهتعاریف (۹) و (۱۰) و رابطة (۱۵) می‌توان نوشت:

$$p_f = \sum_{i=n}^{N} \alpha^i (1-\alpha)^{N-i} \qquad (۱۶)$$

$$p_d = \sum_{i=n}^{N} \beta^i (1-\beta)^{N-i} \qquad (۱۷)$$

در این بخش نیز برای ساده شدن مسئله، سه مرحله را در نظر می‌گیریم. در مرحلة اول فرض کنید kامین آشکارساز خراب باشد و همیشه $u_k = 0$، در این صورت:

$$p\left(D_{110}\middle|H_0\right) =$$

$u_k = 1|H_0)$ و دقیقاً nتا آشکارساز تصميم ۱ را ارسالکنند) p

(۱۸)

که با توجه به (۹):

$$p_{f0} - p_f = -\binom{N-1}{n-1}\alpha^n (1-\alpha)^{N-n} \qquad (۱۹)$$

دیده می‌شود که تغییر احتمال هشدار غلط کلی منفی است و این منطقی است زیرا آشکارساز خراب همواره صفر را ارسال می‌کند و این امر سبب کاهش احتمال هشدار غلط کلی می‌شود. به طریق مشابه در حالتی که آشکارساز همواره یک را ارسال می‌کند، داریم:

$$p_{f1} - p_f = \binom{N-1}{n-1}\alpha^{n-1} (1-\alpha)^{N-n+1} \qquad (۲۰)$$

در مرحلة دوم، فرض کنید تصمیم گرفته شده توسط آشکارساز خراب با احتمال P، صفر و با احتمال $1-P$، یک باشد. با استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) می‌توان نوشت:

$$\begin{aligned} p_{fp} - p_f &= (1-P)\binom{N-1}{n-1}\alpha^{n-1}(1-\alpha)^{N-n+1} \\ &\quad - P\binom{N-1}{n-1}\alpha^n (1-\alpha)^{N-n} \end{aligned}$$

$$= \binom{N-1}{n-1} \alpha^{n-1} (1-\alpha)^{N-n} (1-P-\alpha)$$
(۲۱)

در مرحلهٔ سوم، فرض می‌کنیم با احتمال S، یکی از آشکارسازها خراب شود و در صورت خراب شدن، با احتمال p، تصمیم گرفته شده توسط این آشکارساز صفر و با احتمال $1-p$، یک باشد. در این صورت داریم:

$$p_{fps} - p_f = \binom{N-1}{n-1} \alpha^{n-1} (1-\alpha)^{N-n} S(1-P-\alpha)$$
(۲۲)

به طریقی مشابه با آنچه در بالا دیده می‌شود می‌توان تغییر در احتمال آشکارسازی کلی را بهصورت زیر نوشت:

$$p_{dps} - p_d = \binom{N-1}{n-1} \beta^{n-1} (1-\beta)^{N-n} S(P+\beta-1)$$
(۲۳)

۵- یک مثال عددی

در این بخش، برای تأکید بر نتایج تحلیلی بـهدست آمده در بخشهای قبلی، یک مثال عددی را ذکر می‌کنیم. شبکهای با ۵ آشکارساز مشابـه و قاعدهٔ ادغام اکثریت $(n=3)$ را در نظر

بگیرید و فرض کنید احتمال هشدار غلط همگی α و احتمال آشکارسازی آنها β باشد. همچنین فرض کنید تابع چگالی احتمال مشاهدات آشکارسازها تحت هر دو فرضیه یکسان و گوسی باشد:

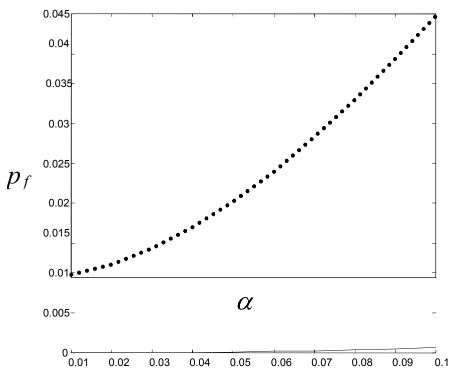
$$H_0 \sim N(0,1)$$
$$H_1 \sim N(3,1)$$

شکلهای (۲) تا (۹) احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی را به ازای مقادیر مختلف α، در دو حالت نشان می‌دهد. در حالت اول هیچ یک از آشکارسازها خراب نیست (منحنی‌های توپر) و در حالت دوم یکی از آشکارسازها خراب است (منحنی‌های نقطه چین).

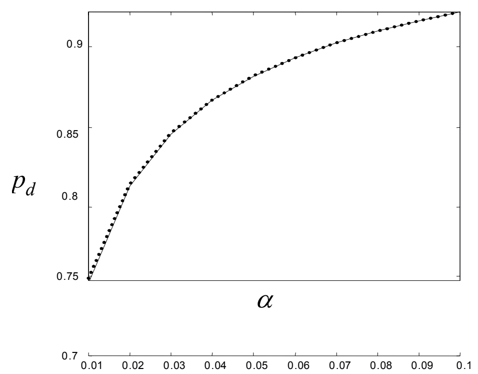
شکل (۲)، احتمال هشدار غلط کلی و شکل (۳)، احتمال آشکارسازی کلی را با فرض $s=1$ و $p=0$ نشان می‌دهد. در شکلهای (۴) و (۵) نیز بهترتیب، احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی با فرض $s=1$ و $p=1$ نشان داده شده است. می‌بینید که وقتی آشکارساز خراب همواره صفر ارسال می‌کند، این دو کمیت کاهش و وقتی آشکارساز خراب همواره یک ارسال می‌کند، این دو کمیت افزایش می‌یابند.

شکلهای (۶) و (۷)، نمودار کمیتهای فوقالذکر را برای حالت $s=1$ و $p=0.5$ و شکلهای (۸) و (۹)، برای حالت $s=0.5$ و $p=0.5$ نشان می‌دهند.

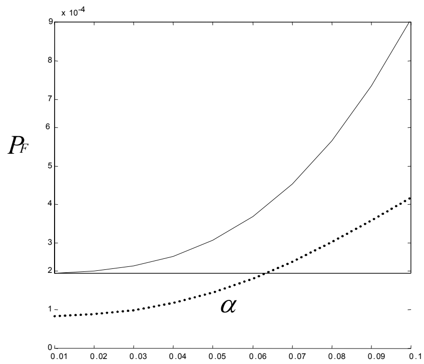
همانطور که از شکلها مشخص است، تغییرات احتمال هشدار غلط کلی به ازای افزایش احتمال هشدار غلط آشکارسازها (α) افزایش می‌یابد در حالی که تغییرات احتمال آشکارسازی کلی با افزایش احتمال هشدار غلط آشکارسازها کاهش می‌یابد.



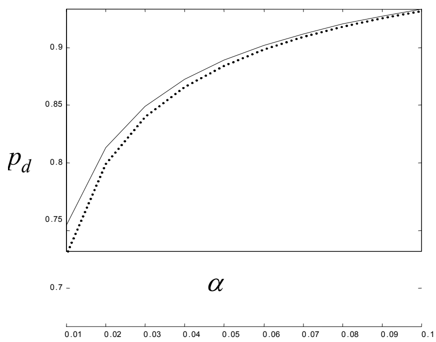
شکل۲- تغییراحتمال هشدارغلط کلي برحسب α به ازاي s=1 و p=0



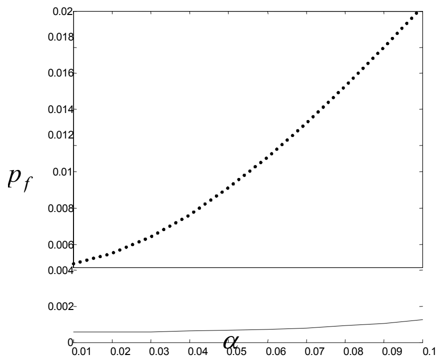
شکل۳- تغییر احتمال آشکارسازي کلي برحسب α به ازايs=1 و p=0



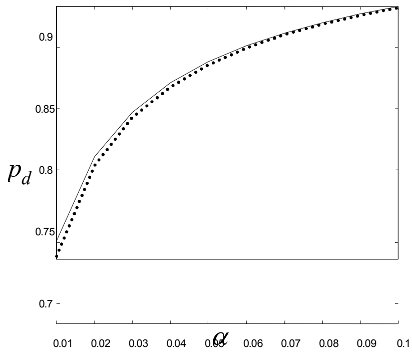
شکل ۴- تغییر احتمال هشدار غلط کلي برحسب α **به زاي** s=1 **و** p=1



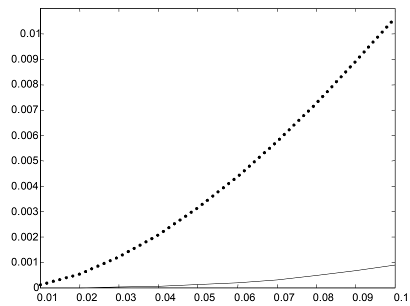
شکل۵- تغییر احتمال آشکارسازي کلي بر حسب α **به ازاي** s=1 **و** p=1



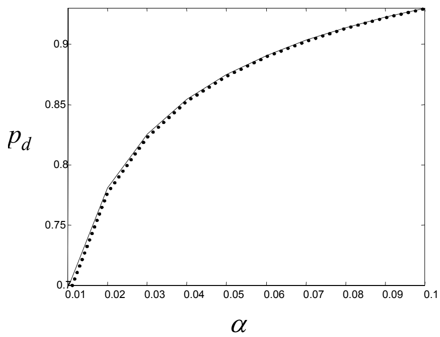
شکل۶- تغییراحتمال هشدارغلطکلي برحسب α **به ازاي** s=1 **و** p=0.5



شکل۷- تغییراحتمال آشکارسازي کلي برحسب α **بهازاي** s=1 **و** p=0.5



شکل۸- تغییراحتمال هشدار غلط کلي برحسب α **بهازاي** p=0.5 **و**s=0.5



شکل۹- تغییراحتمال آشکارسازي کلي برحسب α **بهازاي**p=0.5 **و** s=0.5

۶- نتیجهگیری

در این مقاله، مسئلهٔ خرابی آشکارسازهای محلی و اثر آن بر کارایی یک شبکهٔ آشکارسازی مورد بحث قرار گرفت و روابطی برای محاسبهٔ تغییرات بهوجود آمده در احتمال هشدار غلط کلی و احتمال آشکارسازی کلی بهدست آمد. همچنین روابط فوق برای حالتی خاص که تمام آشکارسازها یکسان باشند، بسط داده

شد و در نهایت نتایج عددی بهصورت نمودارهایی رسم گردید. نتایج نشان داد که اگر آشکارساز خراب همواره صفر ارسال کند، تأثیر مخربی بر احتمال آشکارسازی کلی می‌گذارد زیرا سبب کاهش آن می‌شود. این تأثیر زمانی بیشتر نمود دارد که احتمال هشدار غلط آشکارسازهای محلی کم باشد. بهطور مشابه، اگر آشکارساز خراب همواره یک ارسال کند، سبب افزایش احتمال هشدار غلط کلی می‌شود و این تأثیر هرگاه احتمال هشدار غلط آشکارسازهای محلی زیاد باشد، بیشتر است. لذا پیشنهاد می‌شود هنگام طراحی شبکههای آشکارسازی با در نظر گرفتن نتایج بالا، مقادیر مناسبی برای (α) انتخاب گردد.

مراجع

[1] Varshney, P. K; “Distributed Detection and Data Fusion”, Springer Verlag, N. Y, 1996.

[2] Viswanathan, R., P. K. Varshney, “Distributed detection with multiple sensors: Part I –Fundamentals”, Proc. of IEEE 85(1), 1997, pp. 54-63.

[3] Mirjalily, G., T. N. Davidson and Z. Q. Luo, “Adaptive decision fusion for distributed detection systems”, CRL Technical Report , No. 366, McMaster University, Canada, 1998.

[۴] ميرجليلي، ق.، "شبكه‌هاي آشكارسازي سيگنال در نويز"، دومين كنفرانس دانشجويي مهندسي برق ايران، دانشگاه صنعتي اميركبير، جلد سوم، سال ۱۳۷۸، ص. ۱-۸ .

[۵] ميرجليلي، ق.، عارف، م. ر. و نايبي، م. م.، "ادغام وفقي خروجي گيرنده‌ها در شبكه‌هاي آشكارسازي چندبيتي"، هشتمين كنفرانس مهندسي برق ايران، دانشگاه صنعتي اصفهان، سال ۱۳۷۹، ص. ۳۳۷-۳۴۴ .

[6] Mirjalily, G., M.R. Aref and M.M. Nayebi; “Adaptive team decision-making”; Proc. of Fifth Annual Int. CSI Computer Conf., Shahid Beheshti University, Tehran , March 2000, pp. 78-84.

[7] Mirjalily, G., M.R. Aref and M.M. Nayebi, “Optimal design of multibit Radar detection networks”, Proc. of IEEE Int. Radar Conf., Washington D. C., U. S. A, May 2000, pp. 387-391.

[۸] ميرجليلي، ق.، "بهينه‌سازي شبكه‌هاي آشكارسازي در محيطهاي غيرايستان"، دومين كنفرانس دانشجويي مهندسي برق ايران، دانشگاه صنعتي اميركبير، جلد سوم، سال ۱۳۷۸، ص.۱۹۰-۱۹۷.

[۹] ميرجليلي، ق.، عارف، م. ر. و نايبي، م. م.، "بهينه‌سازي شبكه‌هاي آشكارسازي چندبيتي با تاكيد بر تثبيت نرخ هشدار غلط"، هشتمين كنفرانس مهندسي برق ايران، دانشگاه صنعتي اصفهان، سال ۱۳۷۹، ص. ۳۱۲-۳۱۹ .

[۱۰] ميرجليلي، ق.، عارف، م. ر.، نايبي، م. م. و كهريزي، م.، "ادغام وفقي تصميمات در شبكه‌هاي آشكارسازي"، مجله استقلال، سال ۱۹، شماره اول، شهريور ۱۳۷۹، ص. ۱-۱۴ .

[۱۱] ميرجليلي، ق.، عارف، م. ر.، نايبي، م. م. و كهريزي، م.، "بررسي حساسيت كارايي سيستم آشكارسازي توزيعي اهداف راداري به تغيير شرايط طراحي"، ششمين كنفرانس مهندسي برق ايران، دانشگاه خواجه نصيرالدين طوسي، جلد چهارم، سال ۱۳۷۷، ص. ۱۲۹-۱۳۴ .