

کاربرد آنالیز عددی در شناسایی الگوی بالگردها به کمک روش مساحت

محسن شاهرزایی*، محمد سعید علمداری؛ دانشگاه جامع امام حسین (ع)، گروه ریاضی

دریافت ۹۲/۶/۲۳

پذیرش ۹۴/۱۰/۶

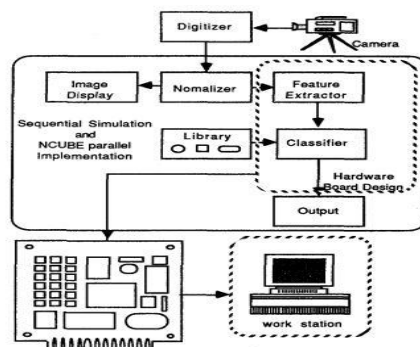
چکیده

در این مقاله روشی جدید برای انتخاب بردار ویژگی در شناسایی بالگردها از زوایای دید مختلف معرفی می‌شود که در عین حال قادر به شناسایی الگوهای مغشوش و تغییر یافته است. بردار ویژگی ۳۲ مؤلفه‌ای براساس ویژگی‌های شکلی، سطحی و طولی برای توصیف تصویر باینری دوبعدی ساخته شد اما ویژگی‌های شکلی و طولی مؤثر نبودند از این رو، تنها ویژگی‌های سطحی استفاده شد. بردار ویژگی جدید براساس تعداد مؤلفه‌ها (پارامتر nf) و تعداد گروه‌بندی کادر تصویر (پارامتر ns) در ۱۳ حالت گوناگون بررسی شد و نتایج نشان داد که $nf=400$ و $ns=5$ بهترین حالت را برای بردار ویژگی مساحت رقم می‌زند.

واژه‌های کلیدی: استخراج ویژگی، تشخیص الگو، دسته‌بندی بالگرد، بردار ویژگی

مقدمه

در ارتباط با شناسایی شی سه‌بعدی از تصویری دوبعدی در زاویه دید دلخواه با چالش‌هایی متفاوتی از قبیل بهبود سرعت، کمترین فضای ذخیره‌سازی مورد نیاز و بهترین عملکرد در حضور نویز روبرو هستیم. از تکنیک‌هایی که در این زمینه توسعه یافته‌اند می‌توان به تکنیک استفاده از برنامه‌نویسی پویا [۱]، توصیف‌گر فوریه [۲]، ممان‌های مرز [۳]، انتقالات هاف [۴] و ویژگی‌های هاپیرگراف [۵] اشاره کرد. سیستم شناسایی الگو نظیر شکل ۱ است:



شکل ۱. طرح کلی یک سیستم شناسایی الگو

ابتدا تصویر گرفته شده به صورت دیجیتال درمی‌آید، سپس نرمال می‌شود تا انتقال و تغییر اندازه تصاویر سبب تفاوت نشود سپس تصویر نرمال شده به یک الگوریتم شناسایی وارد شده و بردار ویژگی آن محاسبه می‌شود، در مرحله بعد بردار ویژگی تصویر ورودی با بردار ویژگی سایر تصاویری که در حافظه سیستم ذخیره شده‌اند مقایسه شده و کلاس آن مشخص می‌شود.

*نویسنده مسئول mshahrezaee@iust.ac.ir

بردار ویژگی ۳۲ مؤلفه‌ای بدین‌صورت تعریف می‌شود:

۱- مؤلفه‌های ۱ الی ۲۴ که ویژگی‌های شکلی جسم را نشان می‌دهند.

۲- مؤلفه‌های ۲۵ الی ۲۸ که ویژگی‌های سطحی جسم را نشان می‌دهند.

۳- مؤلفه‌های ۲۹ الی ۳۲ که ویژگی‌های طولی جسم را نشان می‌دهند.

برای تعیین مقدار این ۳۲ مؤلفه، فرض می‌شود که تصویر جسم مورد نظر، تصویری باینری به ابعاد $N \times N$ پیکسل است. هر پیکسل از تصویر به‌صورت P_{ij} در نظر گرفته می‌شود در این صورت اگر پیکسل مورد نظر به‌تصویر متعلق باشد آن‌گاه P_{ij} دارای ارزش ۱ و اگر پیکسل به زمینه متعلق باشد آن‌گاه P_{ij} دارای ارزش ۰ خواهد بود.

با این فرضیات ۲۴ مؤلفه شکلی بدین‌صورت تعریف می‌شوند.

$$f_1 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i-1,j+1} \quad (1)$$

$$f_2 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j-1} \quad (2)$$

$$f_3 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i+1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j+1} \quad (3)$$

$$f_4 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j+1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j+1} \quad (4)$$

$$f_5 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i-1,j+1} \quad (5)$$

$$f_6 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i+1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i,j+1} \quad (6)$$

$$f_7 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j+1} \quad (7)$$

$$f_8 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j} \quad (8)$$

$$f_9 = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j+1} \wedge \neg P_{i,j+1} \wedge \neg P_{i-1,j} \quad (9)$$

$$f_{10} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j+1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j-1} \wedge \neg P_{i-1,j} \wedge \neg P_{i,j-1} \quad (10)$$

$$f_{11} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} P_{i-1,j-1} \wedge P_{i,j} \wedge P_{i+1,j+1} \wedge \neg P_{i+1,j} \wedge \neg P_{i,j-1} \quad (11)$$

$$f_{12} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} p_{i-1,j+1} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i+1,j-1} \wedge \neg p_{i+1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (12)$$

$$f_{13} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i-1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i+1,j+1} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (13)$$

$$f_{14} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i-1,j+1} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i+1,j-1} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (14)$$

$$f_{15} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i-1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i+1,j+1} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (15)$$

$$f_{16} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i-1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i+1,j+1} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (16)$$

$$f_{17} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i-1,j} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i,j+1} \wedge \neg p_{i-1,j+1} \wedge \neg p_{i,j-1} \quad (17)$$

$$f_{18} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i+1,j} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i,j+1} \wedge \neg p_{i+1,j+1} \wedge \neg p_{i,j-1} \quad (18)$$

$$f_{19} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} p_{i,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i-1,j-1} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (19)$$

$$f_{20} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} p_{i-1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i+1,j-1} \wedge \neg p_{i+1,j} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (20)$$

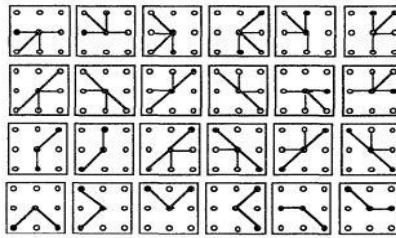
$$f_{21} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} \neg p_{i-1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j-1} \wedge \neg p_{i+1,j} \quad (21)$$

$$f_{22} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} p_{i+1,j} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i,j-1} \wedge \neg p_{i+1,j-1} \quad (22)$$

$$f_{23} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} p_{i-1,j} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i-1,j+1} \wedge \neg p_{i,j+1} \wedge \neg p_{i+1,j} \quad (23)$$

$$f_{24} = \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^{N-1} p_{i+1,j} \wedge p_{i,j} \wedge \neg p_{i-1,j} \wedge \neg p_{i+1,j+1} \wedge \neg p_{i,j+1} \quad (24)$$

کادر تصویر را یک مربع 3×3 پیکسل اسکن می کند که در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲. طرح شماتیک ویژگی‌های شکلی متناظر با f_1 تا f_{24}

بعد از تعیین مؤلفه‌های ویژگی شکلی، مؤلفه‌های سطحی تعیین می‌شود. این مؤلفه‌ها به‌سادگی از این روابط

به‌دست می‌آیند:

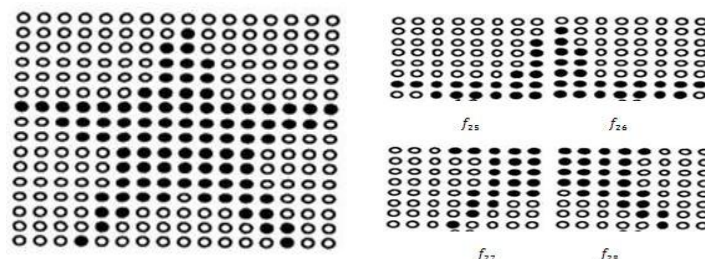
$$f_{25} = \sum_{i=1}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{j=1}^{\frac{N-1}{2}} p_{i,j} \quad (25)$$

$$f_{26} = \sum_{i=1}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{j=\frac{N}{2}}^N p_{i,j} \quad (24)$$

$$f_{27} = \sum_{i=\frac{N}{2}}^N \sum_{j=1}^{\frac{N-1}{2}} p_{i,j} \quad (25)$$

$$f_{28} = \sum_{i=\frac{N}{2}}^N \sum_{j=\frac{N}{2}}^N p_{i,j} \quad (24)$$

چنان‌که مشاهده می‌شود با تقسیم کادر تصویر به ۴ قسمت و شمارش پیکسل‌های هر قسمت مقدار مؤلفه‌های سطحی متناظر با آن به‌دست می‌آید، شکل ۳ این موضوع را نشان می‌دهد.

شکل ۳. طرح شماتیک ویژگی‌های سطحی متناظر با f_{25} تا f_{28}

مؤلفه‌های طولی نیز بدین‌صورت تعریف می‌شوند، با این تفاوت که در این‌جا، تصویر با مربعات بزرگ‌تر

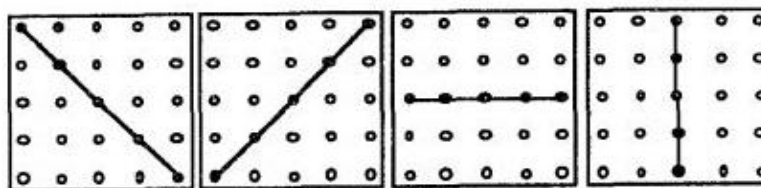
به ابعاد 7×7 پیکسل، اسکن می‌شود شکل ۴ این موضوع را نشان می‌دهد.

$$f_{29} = \sum_{i=4}^{N-4} \sum_{j=4}^{N-4} p_{i-3,j-3} \wedge p_{i-2,j-2} \wedge p_{i-1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i+1,j+1} \wedge p_{i+2,j+2} \wedge p_{i+3,j+3} \quad (29)$$

$$f_{30} = \sum_{i=4}^{N-4} \sum_{j=4}^{N-4} p_{i+3,j-3} \wedge p_{i+2,j-2} \wedge p_{i+1,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i-1,j+1} \wedge p_{i-2,j+2} \wedge p_{i-3,j+3} \quad (30)$$

$$f_{31} = \sum_{i=4}^{N-4} \sum_{j=4}^{N-4} p_{i-3,j} \wedge p_{i-2,j} \wedge p_{i-1,j} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i+1,j} \wedge p_{i+2,j} \wedge p_{i+3,j} \quad (31)$$

$$f_{32} = \sum_{i=4}^{N-4} \sum_{j=4}^{N-4} p_{i,j-3} \wedge p_{i,j-2} \wedge p_{i,j-1} \wedge p_{i,j} \wedge p_{i,j+1} \wedge p_{i,j+2} \wedge p_{i,j+3}$$



شکل ۴. طرح شماتیک ویژگی های طولی متناظر با f_{29} تا f_{32}

بررسی روش شناسایی به کمک ویژگی های سطحی

کوچکترین ناهمواری در لبه های مرزی جسم مقادیر مؤلفه های شکلی را به طور چشمگیری تغییر می دهد از این رو، مؤلفه های شکلی از بردار ویژگی حذف شدند. همچنین مؤلفه های طولی در جداسازی نمای روبرو از نمای جانبی، به ویژه در تصاویری با تشابه زیاد، ویژگی مؤثری محسوب نمی شوند از این رو، مؤلفه های طولی نیز از بردار ویژگی حذف شدند.

بدین ترتیب تنها ویژگی های سطحی باقی می ماندند که به تنهایی برای شناسایی الگو کافی نیستند؛ ولی ایده مناسبی برای تشکیل یک بردار ویژگی جدید که بردار ویژگی جدید از تقسیم طول و عرض کادر تصویر به n قسمت تعریف می شود و n^2 مؤلفه دارد.

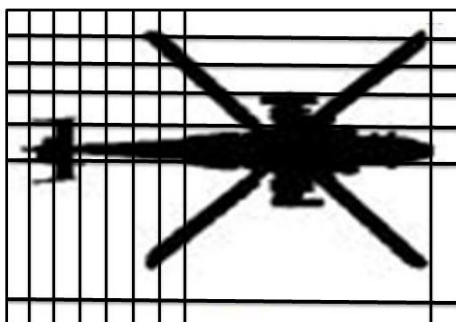
اگر ابعاد کادر تصویر $m \times m$ پیکسل باشد، مساحت هر قسمت $\frac{m^2}{n^2}$ پیکسل مربع است از این رو، هر مؤلفه بردار ویژگی مقدار حداقل صفر تا حداکثر $\frac{m^2}{n^2}$ دارد.

مقادیر مؤلفه های بردار ویژگی جدید بدین صورت تعریف می شوند:

$$f_1 = \sum_{i=1}^{\frac{m}{n}} \sum_{j=1}^{\frac{m}{n}} p_{ij} \quad (32)$$

$$f_2 = \sum_{i=1}^{\frac{m}{n}} \sum_{j=1+\frac{m}{n}}^{\frac{m}{n}} p_{ij} \quad (33)$$

$$f_{n^2} = \sum_{i=1-\frac{m}{n}+1}^m \sum_{j=1-\frac{m}{n}+1}^m p_{ij} \quad (34)$$



شکل ۵. تعیین تعداد مؤلفه های بردار ویژگی با تقسیم طول و عرض کادر تصویر به n قسمت

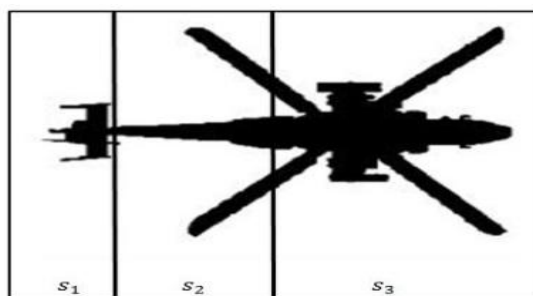
این بردار ویژگی تنها قابلیت شناسایی الگوهای را دارد که ناهمواری‌هایی روی لبه‌ها ایجاد می‌شود بنابراین در مواردی که ناحیه‌ای از شکل حذف شده باشد یا برعکس قسمتی به آن اضافه شده باشد این بردار ویژگی، قابلیت لازم برای شناسایی را ندارد.

برای از بین بردن این مشکل، مؤلفه‌های بردار ویژگی هر تصویر بر حاصل جمع مؤلفه‌های بردار متناظر آن تقسیم می‌شود که با این کار عمل‌کرد سیستم بهتر شده اما برای تشخیص کلاس‌های مشابه مشکل وجود دارد. از این رو، برای توصیف بیش‌تر جزئیات به‌جای تقسیم همه مؤلفه‌ها بر مساحت شکل، ابتدا هر تصویر گروه‌بندی شده، سپس مؤلفه‌های هر گروه بر مساحت همان بخش تقسیم می‌شود.

برای شروع کار، کادر تصویر به‌صورت ابعاد 300×300 پیکسل مربع در نظر گرفته می‌شود که با تقسیم ابعاد کادر به n قسمت مساوی $n \times n$ خانه ایجاد شده که مساحت هر خانه $(\frac{300}{n})^2$ پیکسل مربع است.

در مرحله بعد کادر تصویر بار دیگر به چند گروه تقسیم‌بندی می‌شود به‌عنوان مثال در شکل ۶ با تقسیم الگو به ۳ گروه که شامل بخش بدنه، بخش وسط و بخش انتهای دم است، به‌طور نسبی اجزای بالگرد از یک دیگر جدا شده و ns تعداد این گروه‌بندی است.

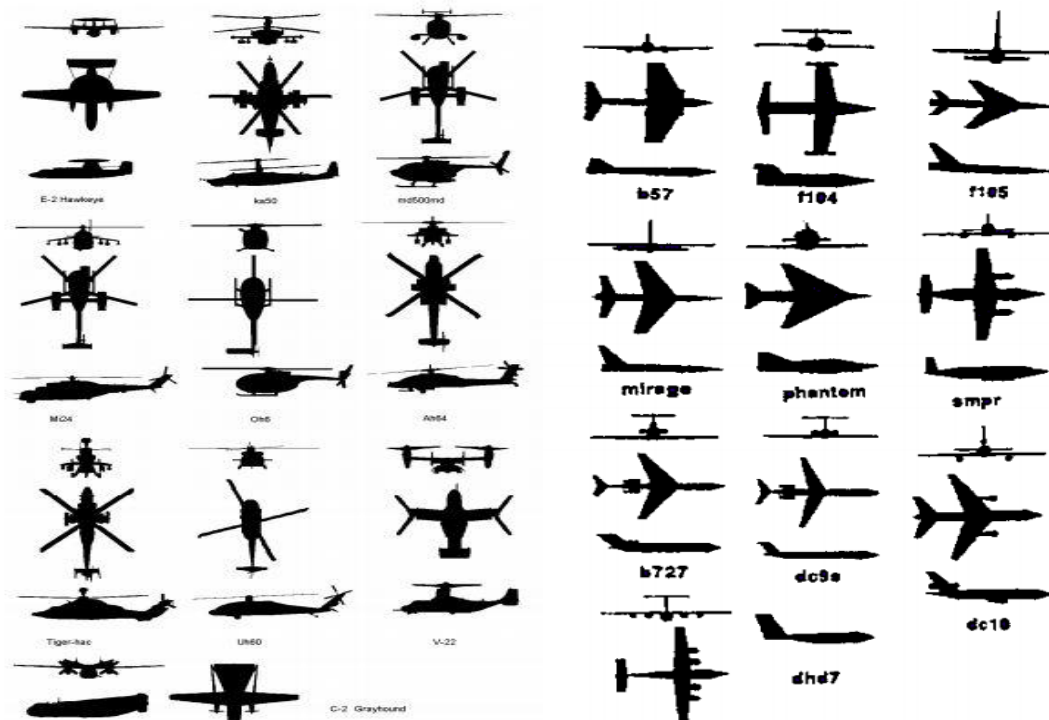
در مرحله نهایی، مؤلفه‌های متعلق به هر گروه بر مساحت همان گروه تقسیم و بردار ویژگی نهایی به‌دست می‌آید.



شکل ۶. گروه‌بندی تصویر برای تفکیک اجزای بالگرد (S₁)، بخش وسط (S₂) و بخش بدنه (S₃)

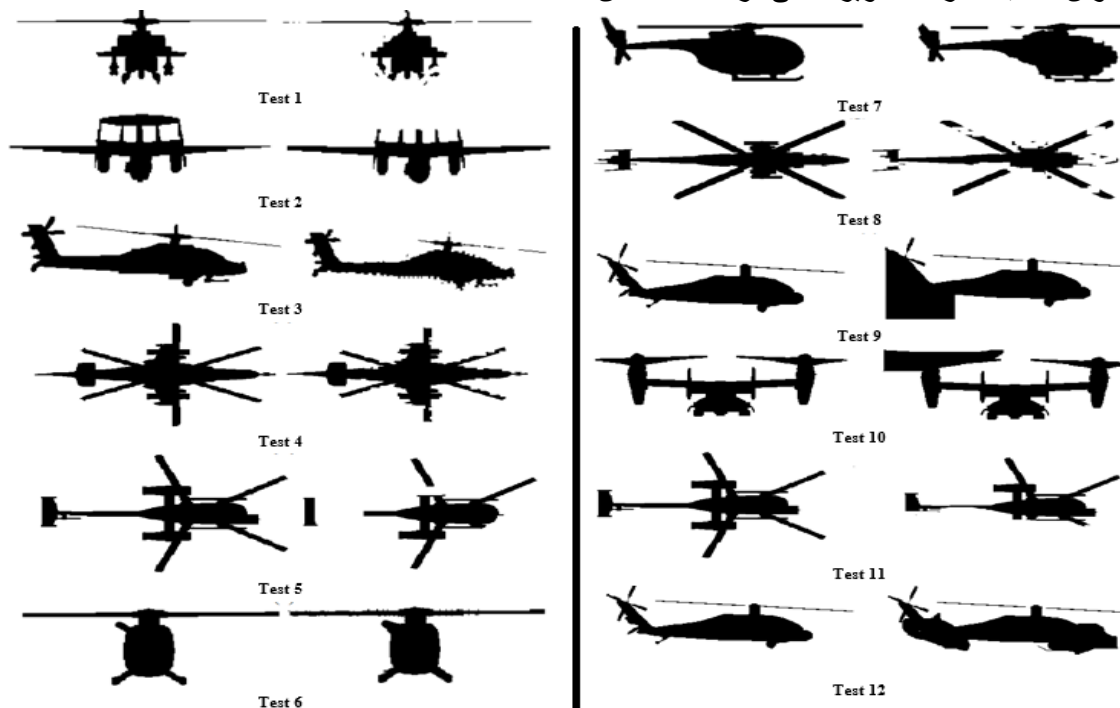
شماره‌گذاری تصاویر

به‌منظور آزمایش روش شناسایی مجموعه‌ای از ۶۰ تصویر شامل سه نما از بالگرد و هواپیما انتخاب شد (شکل ۷).



شکل ۷. مجموعه ۶۰ تصویر نمونه برای انجام آزمایش

از بین تصاویر شکل ۷، تعداد ۱۲ تصویر از بالگردها به عنوان الگوی نویز انتخاب شدند که این ۱۲ تصویر مغشوش شده به همراه تصاویر اصلی در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸. مجموعه ۱۲ تصویر مغشوش بالگردها

در این تصاویر ۳ گروه اغتشاش شبیه سازی شده است که عبارتند از:

۱. اغتشاش از نوع ناهمواری روی لبه ها:

این اغتشاش به‌صورت بر جستگی‌ها و فرورفتگی‌های اضافی در لبه‌های الگو مشاهده می‌شود (تست ۳).

۲. اغتشاش به‌صورت از بین رفتن قسمتی از الگو:

این حالت هنگامی پیش می‌آید که مانعی هم‌رنگ زمینه یا مشابه رنگ زمینه موجود و قسمتی از تصویر را بپوشاند (تست ۵).

۳. اغتشاش به‌صورت اضافه شدن بخشی به الگو:

در این حالت مانعی هم‌رنگ جسم یا مشابه آن قسمتی از تصویر را می‌پوشاند (تست ۹).

برای مقایسه بردار ویژگی تصویر ورودی با بردار ویژگی سایر تصاویر کتابخانه، حاصل جمع قدرمطلق اختلاف مؤلفه‌های بردار ویژگی به‌عنوان معیار شناسایی در نظر گرفته شد که بدین‌صورت تعریف می‌شود:

$$d = \sum_{i=1}^{n^2} |x_i - y| \quad i=1,2,\dots,m \quad (36)$$

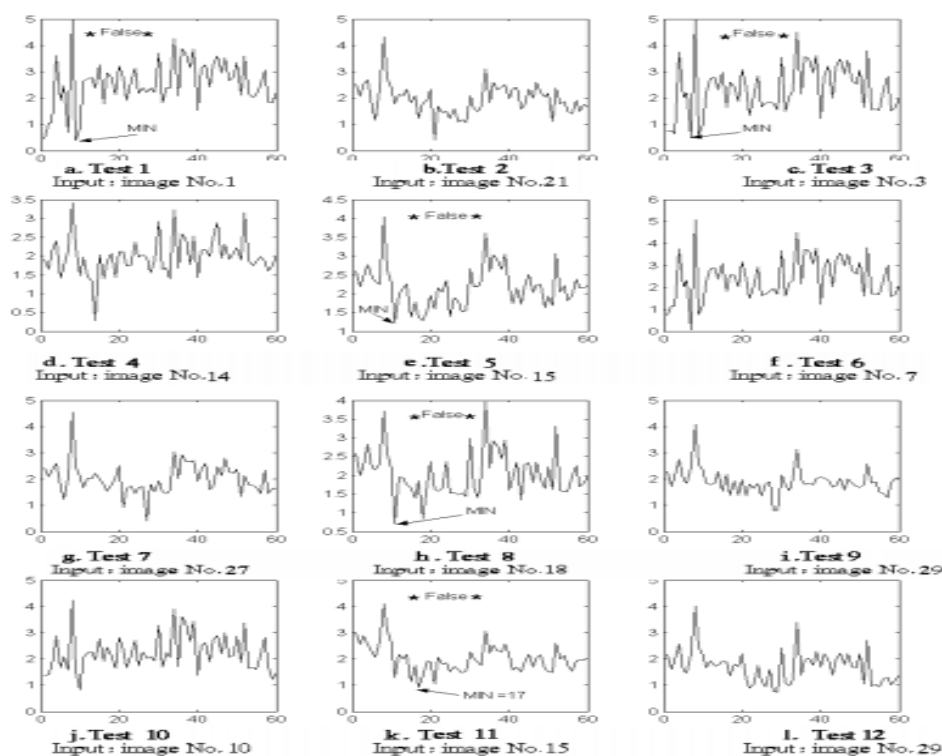
که در آن y بردار ویژگی تصویر ورودی و x_i بردار ویژگی تصاویر کتابخانه هستند.

الگوریتم استفاده شده، بدین‌صورت است:

```
d=zeros(npic,nf);
for j=1:12
    for i=1:60
        d(i,:)= f(i,:)- ft(j,:);
        for k=1:nf
            sig(i,j)=sig(i,j)+abs(d(i,k))
        end
    end
end
```

در این مقاله ۱۳ حالت گوناگون از بردار ویژگی مساحت، بر اساس تعداد مؤلفه‌های بردار ویژگی (پارامتر nf) و تعداد گروه‌بندی کادر تصویر (پارامتر ns) در نظر گرفته شد و در هر حالت ۱۲ نمونه تصویر مغشوش بالگردها (شکل ۸) بررسی شد.

در هر نمودار محور افقی معرف شماره الگوها و محور عمودی نمایش‌گر مقادیر مختلف پارامتر d است که حاصل جمع قدرمطلق اختلاف مؤلفه‌های بردار ورودی با سایر بردارهای مرجع را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال، برای اولین حالت از بردار ویژگی مساحت، $nf=36$ و $ns=3$ در نظر گرفته شد و ۱۲ منحنی متناظر با آن در شکل ۹ مشاهده می‌شود که در قسمت a ، تصویر ۱ آزمایش شد که باید مقدار نقطه می‌نیم ۱ باشد ولی مقدار آن برابر با ۸ است از این رو، شناسایی نادرست است.



شکل ۹. نمودار شناسایی ۱۲ الگوی تست با بردار ویژگی ۳۶ مؤلفه‌ای ($n=36$) و ۳ گروه مجزا ($ns=3$)

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی ۱۳ حالت گوناگون برای بردار ویژگی مساحت در جدول ۱ آمده است. جدول ۱. درصد شناسایی ۱۲ الگوی تست شکل ۸ با استفاده از ۱۳ بردار ویژگی متفاوت

n	nf	ns	تعداد شناسایی صحیح بین الگو
۶	۳۶	۳	۷ مورد
۱۰	۱۰۰	۵	۱۰ مورد
۱۲	۱۴۴	۳	۱۱ مورد
۱۲	۱۴۴	۴	۱۰ مورد
۱۲	۱۴۴	۶	۱۱ مورد
۱۵	۲۲۵	۱	۱۰ مورد
۱۵	۲۲۵	۳	۱۱ مورد
۱۵	۲۲۵	۵	۱۲ مورد
۲۰	۴۰۰	۱	۱۰ مورد
۲۰	۴۰۰	۴	۱۲ مورد
۲۰	۴۰۰	۵	۱۲ مورد
۲۰	۴۰۰	۱۰	۱۲ مورد
۲۵	۶۲۵	۵	۱۱ مورد

پس از بررسی جدول ۱ این نتیجه به دست می‌آید که برای داشتن بهترین دست‌بندی میان الگوها، باید محدوده n بین ۱۵ تا ۲۰ و ns نیز برابر ۵ باشد به عبارت دیگر اگر مقدار n کم باشد جزئیات الگوها در بردار ویژگی لحاظ نمی‌شود و اگر n بیش از حد بزرگ باشد حداکثر نویز قابل تشخیص برای هر الگو کم می‌شود.

منابع

1. Gorman J.W., Mitchell O.R., Kuhl F.P, "Partial shape recognition using dynamic programming", IEEE Transaction On Pattern Analysis and Machine Intelligence, 10 (1988).
2. Wallace T.P., Wintz P.A., "An efficient three-dimensional aircraft recognition algorithm using normalized fourier descriptors", Computer Graphics and Image Processing, 13 (1980) 99-126.
3. Reeves A.P., Prokop R.J., Andrews S.E., Kuhl F.P., "Three-dimensional shape analysis using moments and fourier descriptor", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 10 (1989) .
4. Dudani S.A., Breeding K.J., McGhee R.B., "Aircraft Identification by Moment Invariants", IEEE Transaction on Computers, 26 (1977) 39-46.
5. Andrew K.C., Wong S.W., "Recognition and shape synthesis of 3-D objects based on attributed hypergraphs", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11 (1989) 279-289.