مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال سیزدهم، شماره سوم (پیاپی ۵۰)، پاییز ۹۵، ص ص ۷-۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

ارایه الگویی برای خوشه‌بندی داده‌ها مبتنی بر الگوریتم جستجوی هارمونی

محمدرضا شهریاری*
دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۰ فروردین ۱۳۹۵
پذیرش مقاله: ۶ شهریور ۱۳۹۵

چکیده
خوشه‌بندی، فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها داخل گروه‌های یا خوشه‌های خاص، بر اساس درجه شباهت بین آن‌ها است که یکی از روش‌های پر کاربرد در بسیاری از زمینه‌های علمی است. در ادبیات خوشه‌بندی، در سال‌های اخیر محققان به منظور اجتناب از گرفتار شدن در بهینه محلی، الگوریتم‌های فرا ابتکاری که از پدیده‌های اجتماعی و طبیعی الهام گرفته‌اند را برای حل مسایل خوشه‌بندی ارایه کرده‌اند. در این مقاله الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA) که مبتنی بر عملکرد سازهای موسیقی است به عنوان یک الگوریتم توانا در حل مسایل خوشه‌بندی در نظر گرفته می‌شود. به منظور ارزیابی توانایی الگوریتم چندین مجموعه داده استاندارد و واقعی ارایه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که الگوریتم HSA از کارایی بالایی در به‌دست آوردن جواب‌های مطلوب برخوردار است.

کلمات کلیدی: خوشه‌بندی، الگوریتم فراابتکاری، الگوریتم k-means ، جستجوی هارمونی.

۱ مقدمه

خوشه‌بندی داده‌ها که آنالیز خوشه‌بندی نیز نامیده می‌شود، یکی از روش‌های مهم طبقه‌بندی بدون نظارت می‌باشد. در خوشه‌بندی تلاش می‌شود تا مشاهدات واقع در هر خوشه بیشترین تشابه را از نظر متغیرهای مورد نظر باهم داشته باشند و مشاهدات هرگروه از مشاهدات دیگر خوشه‌ها بیشترین فاصله را داشته باشند. در سال‌های اخیر از این نگرش به عنوان یک فاکتور تأثیر گذار در علوم مختلف از جمله پردازش تصاویر، پزشکی، انتخاب تأمین کننده و بازاریابی استفاده شده است.

به طور کلی می‌توان روش‌های خوشه‌بندی را به بخش‌های سلسله مراتبی و تفکیکی تقسیم بندی کرد که روش سلسله مراتبی نیز به دو دسته ادغامی و شکافی تقسیم می‌شوند [۱]. در روش‌های تفکیکی که به آن مرکزگرا نیز گفته می‌شود، تابع خطایی تعریف می‌شود که به دنبال حداقل کردن آن هستیم. یکی از پرکاربردترین روش‌های مرکزگرا روش K-means می‌باشد [۲]. در این روش تعداد خوشه‌ها به عنوان یک پارامتر ورودی برای الگوریتم، ثابت و از پیش تعیین شده است. از مهم‌ترین ویژگی‌های K-means می‌توان به ساده و سریع بودن آن اشاره کرد. اگرچه K-means سریع و ساده است ولی به موقعیت اولیه مراکزش بسیار وابسته است و به همین دلیل اغلب به بیهنه محلی همگرا می‌شود. در سال‌های اخیر برای غلبه بر مشکل بهینه

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: shahriari.mr@gmail.com

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]

محلی، محققان تلاش کردند که با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری که بسیاری از آن‌ها از پدیده‌های اجتماعی و طبیعی الهام گرفته‌اند، تابع هدف K-means را بهینه کنند، که از جمله می‌توان به روش‌های SA، PSO، GA اشاره کرد [۳و۴].

اگرچه الگوریتم‌های ذکر شده سعی بر بهبود تابع هدف K-means را دارند. ولی این نکته را باید پذیرفت که برخی از آن‌ها نیز از کاستی‌هایی همچون کیفیت نتایج و سرعت همگرایی پایین مانند GA و برخی دارای ساختار پیچیده و نرخ همگرایی پایین مانند PSO رنج می‌برند.

یکی از روش‌های فرا ابتکاری که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است، الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA) می‌باشد که یک الگوریتم تکاملی مبنی بر عملکرد سازهای موسیقی است که از آلات موسیقی الهام گرفته و از بداهه‌سرایی سرایندگان تقلید می‌نماید. در این مقاله ما از این الگوریتم به عنوان یک الگوریتم قدرتمند در حل مسایل خوشه‌بندی استفاده می‌کنیم. ما نشان خواهیم داد که الگوریتم HSA قوی و مناسب برای خوشه‌بندی داده‌ها است و همچنین نتایج به‌دست آمده توسط این الگوریتم دارای کیفیت بالایی است که برای این کار از چندین مجموعه داده واقعی و مشهور برای ارزیابی استفاده می‌شود.

باقی مانده این مقاله به شرح زیر سازماندهی می‌شود: در قسمت ۲، خوشه‌بندی داده بحث می‌شود. در قسمت ۳، الگوریتم HSA معرفی می‌شود و سپس نتایج پیاده سازی در قسمت 4 بحث می‌شود. سرانجام، ما در قسمت 5 نتیجه گیری از مقاله می‌کنیم.

۲ خوشه‌بندی داده‌ها

خوشه‌بندی فرآیند خودکاری است که در طی آن، اشیا به دسته‌هایی که اعضای آن از نظر شاخص‌های مورد نظر مشابه یکدیگر می‌باشند تقسیم می‌شوند. بنابراین برای سنجش شباهت بین اشیا داده از اندازه گیری فاصله استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای اندازه گیری فاصله بین دوشی وجود دارد که فاصله اقلیدسی معروف‌ترین و پرکاربردترین گونه فاصله است که به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$d\left(X,Y\right)=\sqrt{\sum_{i=1}^{m}(x_i-y_i)^2} \qquad (1)$$

فرض کنید در فضای اقلیدسی N بعدی مجموعه ای از n شی به‌وسیله مجموعه $S=\{x_1, x_2,...,x_n\}$ و K خوشه به‌وسیله مجموعه $C=\{c_1, c_2,...,c_K\}$ نشان داده شود، از این رو خوشه‌ها باید شرایط زیر را داشته باشد:

- هر خوشه حداقل باید شامل یکشی باشد، یعنی:

$$C_i \neq \varphi \ \forall i \in \{1,2,\ldots,K\}$$

- دو خوشه مختلف نباید اشیا مشترک داشته باشند، یعنی:

$$C_i \cap C_j = \varphi \ \forall i \neq j \ \text{ and } i,j \in \{1,2,\ldots,K\}$$

- هر شی باید به یک خوشه تخصیص پیدا کند، یعنی:

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]

$\cup_{i=1}^{k} C_i = S$

برای پیدا کردن مرکز K خوشه، مساله به عنوان یک بهینه‌سازی (حداقل) یک تابع عملکرد تعریف می‌شود. تابع عملکرد مورد استفاده برای این هدف، کل میانگین مربع خطا تدریج (MSE) است که به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود [۵].

$$f(X, C) = \sum_{i=1}^{N} Min\{X_i - C_l^2 \mid j = 1,2,\ldots,K\}. \quad (۲)$$

هدف این معیار کمینه کردن مجموع فواصل داده‌های موجود در درون خوشه‌ها از مراکز خوشه‌ها می‌باشد. عبارت $\|X_i - C_l\|^2$ فاصله بین داده X_i و مرکز مربوطه C_l را نشان می‌دهد [۱۳].

۳ الگوریتم جستجوی هارمونی (HSA)

الگوریتم جستجوی هارمونی، یک الگوریتم تکاملی مبتنی بر عملکرد سازهای موسیقی است که اولین بار توسط [۱۳] معرفی شد. این الگوریتم با مفهومی ساده و تعداد پارامترهای کم و آسان بر مبنای علم آمار و ریاضیات است. این الگوریتم از آلات موسیقی الهام گرفته و از بداهه‌سرایی سرایندگان تقلید می‌نماید. تابع هدف HSA تخمین و اندازه‌گیری هارمونی و اثری است که آن موسیقی در فرد می‌گذارد تا حالت مناسبی از هارمونی در شخص ایجاد شود. باید به این نکته اشاره شود که HSA فرآیند بداهه‌سرایی کیفی را به فرآیند بهینه‌سازی کمی تبدیل می‌کند هنگامی که یک سراینده یک آلت موسیقی را می‌نوازد با سه حالت روبرو است:

۱. نواختن بر اساس حافظه‌اش
۲. نواختن بر اساس تنظیم کوک
۳. نواختن تصادفی

این سه حالت در واقع سه عملگر کیفی مد نظر در HSA می‌باشد که به ترتیب عملگر حافظه هارمونی (HM)، تنظیم کوک، و تصادفی نواختن است. در واقع فرآیند بداهه‌سرایی HSA ترکیب این سه عملگر می‌باشد.

۳-۱ بردار هارمونی و فرآیند رمزگشایی

طریقه تعریف ساختار بردار هارمونی از جمله تاثیرگذارترین بخش‌ها برای افزایش کارایی الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترکیباتی می‌باشد. که در این مقاله به صورت رشته‌ای تعریف شده است.

۳-۲ فرآیند بداهه‌سرایی

به منظور اجرای فرآیند بدهه‌سرایی در تکرارهای مختلف الگوریتم، یک عدد تصادفی تولید شده و سپس یک یا دو عملگر HSA جهت اجرای فرآیند بداهه‌سرایی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]

۳-۳ نرخ مورد نظر HM

استفاده از این عملگر در الگوریتم جستجوی هارمونی مشابه بحث نخبه‌گرایی در الگوریتم ژنتیک است. در واقع این عملگر تضمین می‌کند که بهترین هارمونی‌ها در طی فرآیند بهینه‌سازی از حافظه پاک نخواهند شد. این عملگر با نرخی به نام نرخ مورد نظر حافظه هارمونی (HMCR) کنترل می‌شود. مقادیر کوچک این نرخ باعث کندی همگرایی الگوریتم خواهد شد. علت نیز وجود تعداد کمی هارمونی برگزیده در فرآیند بداهه‌سرایی است. از طرفی دیگر، مقادیر بالای این نرخ باعث این می‌شود که تنها هارمونی‌های HM انتخاب شده و مورد استفاده قرار گیرند لذا الگوریتم در بهینه‌های محلی مستقر خواهد شد. بدین منظور [۶] پیشنهاد دادند که مقدار این نرخ در بازه $[۰/۹۵ , ۰/۷۵]$ تنظیم شود.

$$P_{HMCR} = HMCR$$

۴-۳ عملگر تنظیم کوک

در دنیای موسیقی، تنظیم کوک به معنای تغییر ساختار فرکانس‌ها می‌باشد که معادل تولید جواب‌های همسایه در فرآیند بهینه‌سازی است. در واقع فضایی از جواب که توسط عملگرهای دیگر یافت نمی‌شود، کشف و مورد جستجو قرار می‌گیرد. این عملگر از نرخی به نام نرخ تنظیم کوک (r_{pa}) بهره جسته تا تنظیمات را کنترل نماید. کارکرد این عملگر مشابه عملگر جهش در الگوریتم ژنتیک است. بنابراین مقادیر بالای عملگر تنظیم کوک تنوع گرای را در الگوریتم افزایش خواهد داد. افزایش این نرخ باعث این می‌شود که الگوریتم مانند یک روش جستجوی تصادفی عمل نماید. بدین منظور [۱۰] پیشنهاد دادند که مقدار نرخ r_{pa} در بازه $[۰/۵ , ۰/۱]$ تنظیم شود. احتمال بهره جستن از این عملگر در رابطه (۶) نمایش داده شده است. به منظور پیاده‌سازی این عملگر ابتدا یک یا چند جزء از بردار هارمونی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود.، باید در نظر داشت که می‌توان از عملگرهای مختلف در این زمینه می‌توان بهره جست.

$$P_{pa} = HMCR \times r_{pa} \qquad (۳)$$

۵-۳ عملگر تصادفی سرایی

مشابه عملگر تنظیم کوک، این نوع عملگر هم جهت افزایش تنوع‌گرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عملگر جواب‌های با تنوع‌گرایی بالاتری را کشف کرده و به احتمال قوی از بهینه محلی عبور می‌کند [6,9]. احتمال تصادفی سرایی نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$P_{rand} = ۱ - HMCR \qquad (۴)$$

ساختار کلی الگوریتم هارمونی به شکل زیر است:

Parameter Setting (number of iteration ,Pop Size ,HMCR , p_{pa} , β)
Best solution = [ ]
for I = 1 to number of Pop Size do
    HM(I)=Randomly
    fitness HM (I)=evaluate(HM (I))
End

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]

```
for it = 1 to number of iteration do
for I = 1 to number of Pop Size do
for j = 1 to nvar do
if rand< HMCR
HM=choose a solution randomly
If rand< p_pa
HM(j)= HM(j)+uniform(-1,1). β
Else
HM(j)= HM(j)
end if
Else
HM(J)= Randomly
end if
End
End
End
```

شبه کد الگوریتم HSA

٤ نتایج پیاده‌سازی

در این قسمت، عملکرد الگوریتم HSA با چندین الگوریتم مشهور که در ادبیات اخیر گزارش شده است مقایسه می‌شود. مقایسه نتایج برای هر مجموعه داده بر اساس بهترین، متوسط و بدترین جواب پیدا شده در بیش از ۲۰ شبیه‌سازی متفاوت برای هر الگوریتم می‌باشد. عملکرد الگوریتم‌ها بر اساس معیار مجموعه فواصل درون خوشه ای، همان طور که در رابطه (۲) تعریف شده است، مقایسه می‌شوند. پارامترهای اصلی در الگوریتم HSA شامل تعداد نت‌ها (HM)، تعداد تکرار الگوریتم (Maximp)، نرخ حافظه‌ی هارمونی (HMCR) و پارامتر نرخ تنظیم کوک (Pac) است که مقدار هر یک از این پارامترهای در جدول (۱) نشان داده شده‌اند. نرم افزار MATLAB برای کد کردن الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌شود.

جدول ۱. مقادیر پارانترهای الگوریتم HSA

پارامتر	مقدار
HM	۷
Maximp	۳۵۰۰
HMCR	۰/۹۱
Pac	۱/۵

برای ارزیابی دقیق تر روش پیشنهادی، ما از ۴ مجموعه داده واقعی استفاده کرده‌ایم. این مجموعه داده‌ها از ماشین آزمایشی آزمایشگاه گرفته شده است که توسط تعداد زیادی از محققان برای ارزیابی الگوریتمشان به کار گرفته شده است [۷و۸] این مجموعه داده‌ها به نام‌های Iris ، Wine، Vowel و CMC هستند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]

جدول ۲. مجموع فواصل درون خوشه ای الگوریتم‌ها

مجموعه داده	معیار	K-means	SA	GA	PSO	HSA
Iris	بهترین	۹۷٫۳۳۳	۹۷٫۴۵۷۳	۱۱۳٫۹۸۶۵	۹۶٫۸۹۴۲	۹۶٫۶۵۰۴
	میانگین	۱۰۶٫۰۵	۹۹٫۹۵۴	۱۲۵٫۱۹۷۰	۹۷٫۲۳۲۸	۹۶٫۷۳۱۲
	بدترین	۱۲۰٫۴۵	۱۰۲٫۰۱	۱۳۹٫۷۷۸۲	۹۷٫۸۹۷۳	۹۶٫۹۵۳۰
Wine	بهترین	۱۶۵۵۵٫۶۸	۱۶۴۷۳٫۴۸۲۵	۱۶۵۳۰٫۵۳۳۸	۱۶۳۴۵٫۹۶۷۰	۱۶۲۹۸٫۷۷۹۴
	میانگین	۱۸۰۶۱	۱۷۵۲۱٫۰۹۴	۱۶۵۳۰٫۵۳۳۸	۱۶۴۱۷٫۴۷۲۵	۱۶۲۹۹,۰۰۰۷
	بدترین	۱۸۵۶۳٫۱۲	۱۸۰۸۳٫۲۵۱	۱۶۵۳۰٫۵۳۳۸	۱۶۵۶۲٫۳۱۸۰	۱۶۲۹۹٫۵۳۱۳
Vowel	بهترین	۱۴۹۲۲٫۲۶	۱۴۹۳۷۰٫۴۷۰۰	۱۴۹۵۱۳٫۷۳۵	۱۴۸۹۷۶٫۰۱۵۲	۱۴۹۳۹۳٫۰۸
	میانگین	۱۵۹۲۴۲٫۸۹	۱۶۱۵۶۶٫۲۸۱۰	۱۵۹۱۵۳٫۴۹۸	۱۵۱۹۹۹٫۸۲۵۱	۱۴۹۳۹۳,۵۸
	بدترین	۱۶۱۲۳۶٫۸۱	۱۶۵۹۸۶٫۴۲۰۰	۱۶۵۹۹۱٫۶۵۲۰	۱۵۸۱۲۱٫۱۸۳۴	۱۴۹۳۹۴٫۱۷
CMC	بهترین	۵۸۴۲٫۲۰	۵۸۴۹٫۰۳۸۰	۵۷۰۵٫۶۳۰۱	۵۷۰۰٫۹۸۵۳	۵۶۹۶٫۳۰۱۵
	میانگین	۵۸۹۳٫۶۰	۵۸۹۳٫۴۸۲۳	۵۷۶۵٫۵۹۸۴	۵۸۲۰٫۹۶۴۷	۵۶۹۶,۹۴۶۰
	بدترین	۵۹۳۴٫۴۳	۵۹۶۶٫۹۴۷۰	۵۸۱۲٫۶۴۸۰	۵۹۲۳٫۲۴۹۰	۵۶۹۷٫۸۸۱۲

نتایج شبیه‌سازی به‌دست آمده برای مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های مختلف بر روی مجموعه داده‌های Iris، Wine، Vowel و CMC در جدول (۲) نشان داده شده است. از مقادیر به‌دست آمده در جدول (۲) ما می‌توانیم ببینیم که نتایج به‌دست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی برای مجموعه Iris تقریباً برابر و نزدیک به **۹۶.۶۵** است، که به طور قابل توجهی از سایر الگوریتم‌ها بهتر می‌باشد. بر روی مجموعه داده Wine، الگوریتم HSA به بهینه کلی 16298.7794 همگرا شده است. بر روی مجموعه داده Vowel الگوریتم پیشنهادی به بهینه کلی 149393.08 رسیده است. این در حالی است که سایر الگوریتم‌ها حتی با بیش از ۲۰ اجرا قادر به رسیدن به این مقدار نیستند. در مجموعه داده CMC الگوریتم HSA بهترین نتیجه را به‌دست آورده است که این مقدار برابر است با **۵۶۹۶.۳۰۱۵** است.

۵ نتیجه‌گیری

در سالهای اخیر محققان، الگوریتم‌های متعددی را برای یافتن جواب بهینه مساله در حل مسایل خوشه بندی به کارگرفته اند. این توسعه گاهی با ترکیب الگوریتم‌ها با یکدیگر و گاهی با ابداع یک روش جدید میسر شده است. این مطالعه از الگوریتم جستجوی هارمونی به منظور حل مسایل خوشه‌بندی داده‌ها استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازی به‌دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم الگوریتم جستجوی هارمونی می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر برای خوشه‌بندی داده‌ها در نظر گرفته شود. به طور خلاصه، با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم پیشنهادی HSA دقیق و قابل اعتماد بوده و می‌تواند جواب‌های با کیفیت را با انحراف استاندارد پایین به‌دست بیاورد. در حالی که سایر الگوریتم‌ها ممکن است به بهینه محلی گرفتار شوند. از طرف دیگر می‌توان به عنوان پژوهش آتی ترکیب این الگوریتم را با K-means آزمود که باعث می‌شود الگوریتم K-

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]

means به بهینه محلی گرفتار نشود و همچنین باعث افزایش کیفیت جواب به‌دست آمده نسبت به الگوریتم K-means می‌شود.

منابع

[1] Hatamlou, A., Abdullah, A.,and Nezamabadi-pour, S. "A combined approach for clustering based on K-means and gravitational search algorithms" Swarm and Evolutionary Computation, (6), pp. 47–52, 2012.

[2] Anil, K.J. "Data clustering: 50 years beyond K-means" Pattern Recognition Letters, (31), pp. 651–666, 2010.

[3] Maulik U., and Bandyopadhyay, S. "Genetic algorithm-based clustering technique" Pattern Recognition, (33), pp. 1455–1465, 2000.

[4] Paterlini, S., and Krink, T. "Differential evolution and particle swarm optimization in partitional clustering" Computational Statistics and Data Analysis, (50), pp.1220–1247, 2006.

[5] Niknam, T., and Amiri, B., "An efficient hybrid approach based on PSO, ACO and k-means for cluster analysis" Applied Soft Computing, (10), pp.183–197, 2010.

[6] Geem Z.W., Kim J.H., and Loganathan G.V. "A new heuristic optimization algorithm, harmony search" Simulation, (76), pp. 60-68, 2001.

[7] Merz, C.J., and Blake, C.L. UCI Repository of Machine Learning Databases. Available from: http://www.ics.uci.edu/-mlearn/MLRepository.html.

[8] N. Sharma, A. Bajpai and R. Litoruya, “Comparison the various clustering algorithms of weka tools”,
International Jornal of Emerging technology and Advanced Engineering, vol. 2, no. 5, (2012) May.

[9] M. E. Celebi, H. A. Kingravi, and P. A. Vela, “A comparative study of efficient initialization methods for the k-means clustering algorithm,” Expert Systems with Applications, vol. 40, no. 1, pp. 200–210, 2013.

[10] E. J. Dries and G. L. Peterson, “Scaling ant colony optimization with hierarchical reinforcement learning partitioning,” in Proceedings of the 10th Annual Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '08), pp. 25–32, BiblioBazaar, Atlanta, Ga, USA, July 2008

[11] P. Shen and C. Li, “Distributed information theoretic clustering,” SIGNAL PROCESSING, IEEE Transactions on, vol. 62, no. 13, pp. 3442–3453, 2014.

[12] G. Di Fatta, F. Blasa, S. Cafiero, and G. Fortino, “Fault tolerant decentralised k-means clustering for asynchronous large-scale networks,” Journal of Parallel and Distributed Computing, vol. 73, no. 3, pp. 317– 329, 2013.

[13] H. Mashayekhi, J. Habibi, S. Voulgaris, and M. van Steen, “Goscan: Decentralized scalable data clustering,” Computing, vol. 95, no. 9, pp. 759–784, 2013.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2016.13.3.1.3]