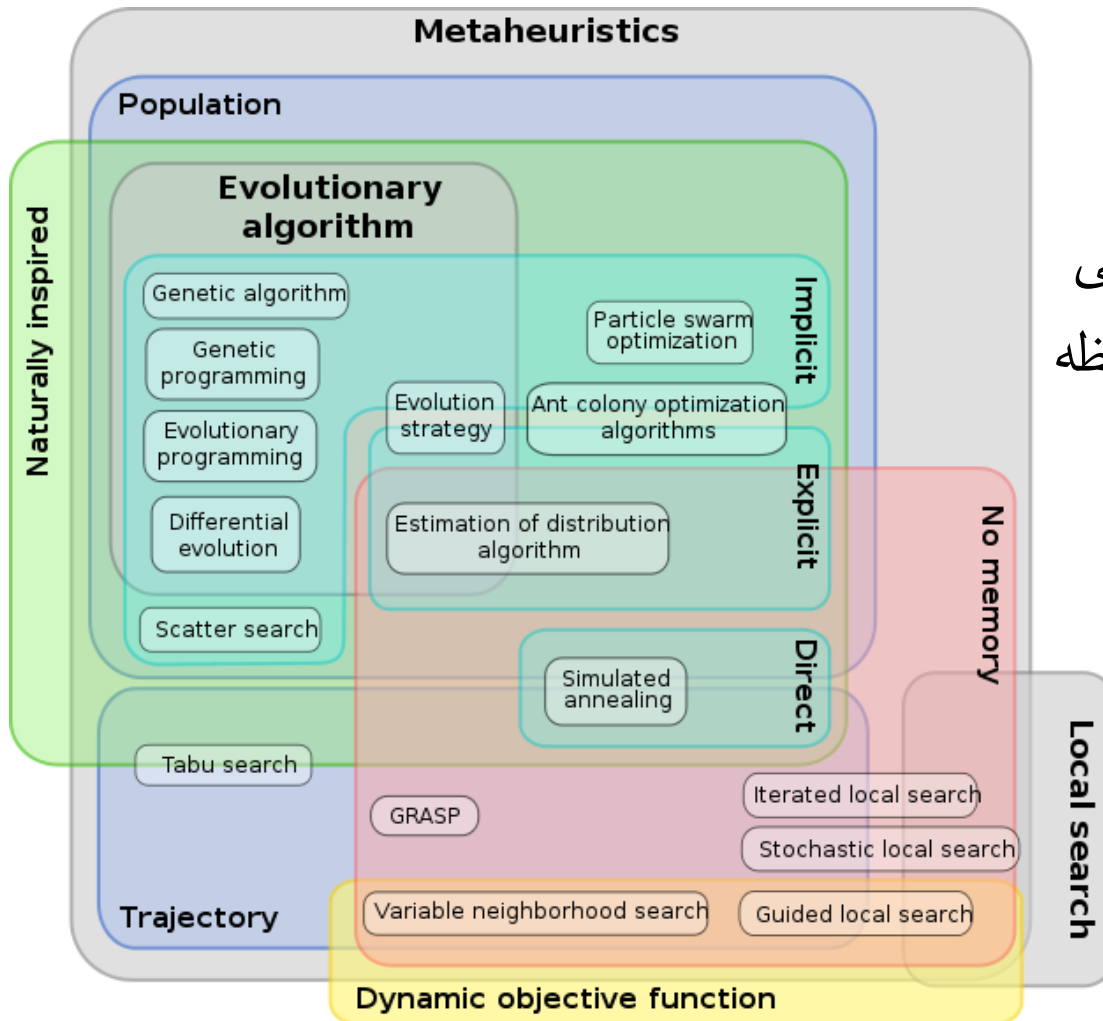


هوش ازدحامی SWARM INTELLIGENCE

دکتر امیر فرید امینیان مدرّس
دانشگاه صنعتی سجاد مشهد
زمستان ۱۳۹۹

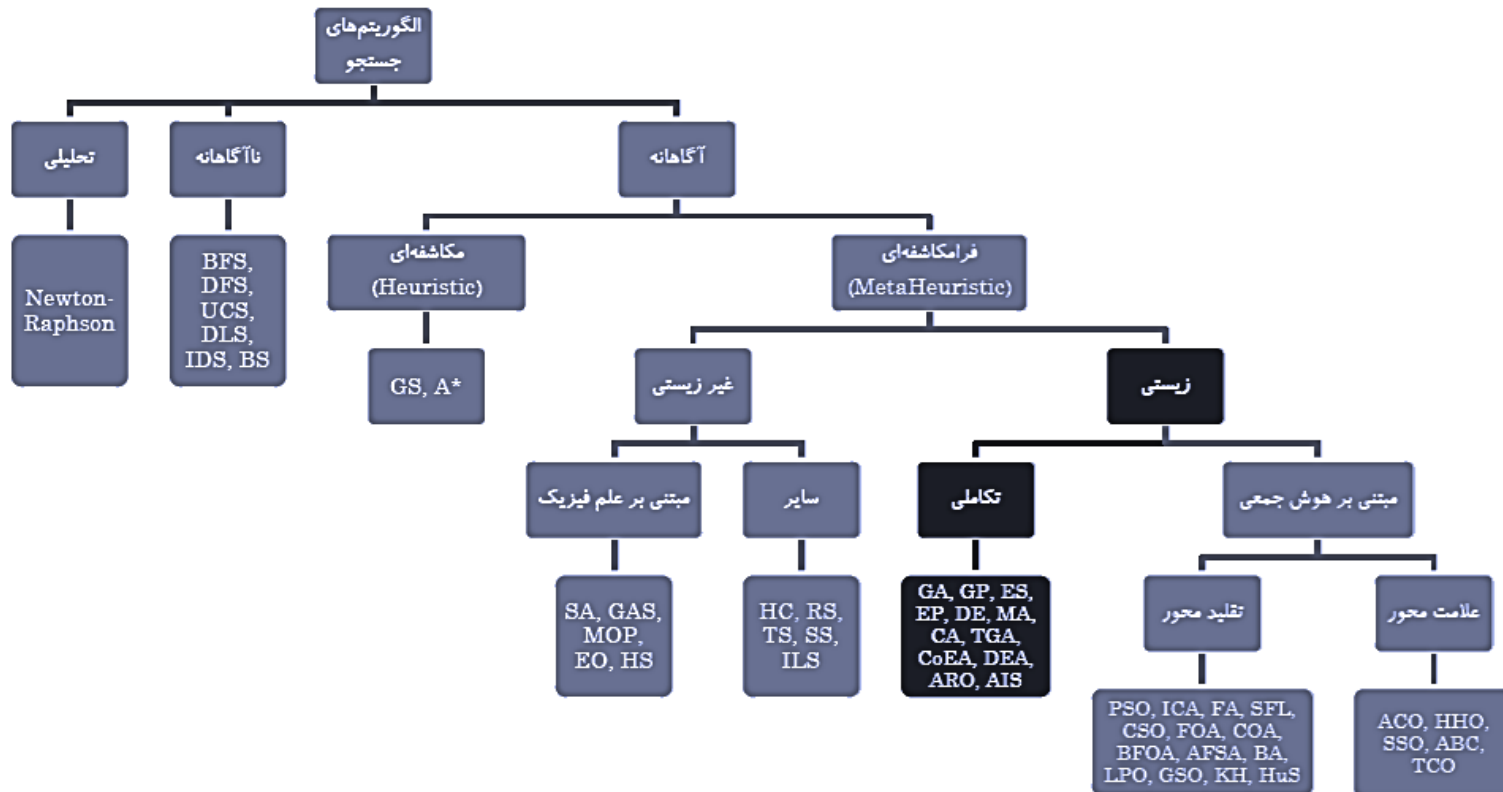
دسته‌بندی الگوریتم‌های فرامکاشفه‌ای



- زیستی و غیرزیستی
- تکاملی و غیرتکاملی
- جمعیتی و غیرجمعیتی
- باحافظه و بدون حافظه
- احتمالی و قطعی

دسته‌بندی انواع روش‌های جستجو

◎ جایگاه الگوریتم‌های تکاملی و زیستی



محاسبات زیستی مبتنی بر هوش جمعی

● محاسبات زیستی مبتنی بر هوش جمعی (swarm or collective intelligence)

- شبیه‌سازی رفتارهای جمعی موجوداتی که در اجتماع زندگی می‌کنند.
- تعداد زیادی موجود (population) برای یافتن پاسخ بهینه برای یک مساله، همکاری می‌کنند.
- معمولاً رفتارهای هر موجود بسیار ساده، اما رفتارهای جمعی آنها پیچیده است.
- مدیریت واحدی برای رفتارهای جمعی وجود ندارد؛ پیچیدگی رفتاری و حل مساله ناشی از تعامل‌های ساده بین موجودات است.

● چند نمونه معروف

- رفتار مورچه‌ها در یافتن مسیر به طرف غذا
- رفتار موریه‌ها در ساخت لانه
- رفتار زنبورها در یافتن منابع غذایی

ارتباط بین موجودات

◎ روشهای مبتنی بر علامت (stigmergy)

- ارتباط غیر مستقیم بین موجودات
- استفاده از حافظه محیطی مشترک، قرار دادن علائم روی حافظه و استفاده از آنها توسط موجودات دیگر
- الگوریتم مورد مطالعه: بهینه‌سازی اجتماع مورچگان (ant colony optimization - ACO)

◎ روشهای ارتباطی یا تقلیدی

- ارتباط مستقیم موجودات با یکدیگر و به اشتراک گذاشتن اطلاعات
- عدم استفاده از حافظه محیطی یا مشترک
- الگوریتم مورد مطالعه: بهینه‌سازی ازدحام ذرات (particle swarm optimization - PSO)



بهینه‌سازی اجتماع مورچگان
ANT COLONY
OPTIMIZATION
ACO

زندگی اجتماعی مورچه‌ها

● کلونی‌های با جمعیت زیاد، تا ۳۰ میلیون!

● رفتارهای جمعی در جهت بقا

- تقسیم کار

- حفاظت از لاروها

- ساماندهی گورستان

- جستجوی منابع غذایی

- مقابله با دشمنان

● مورچه‌ها از نظر فردی

- کور، بی حافظه، هوش بسیار کم

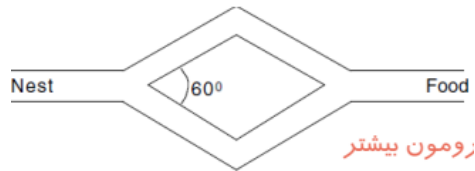


یافتن منابع غذایی توسط مورچگان

● مطالعه رفتاری کلونی مورچگان هنگام یافتن منابع غذایی

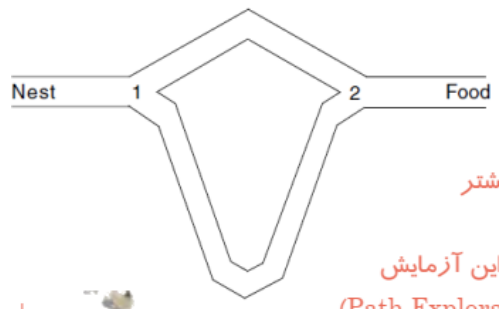
● محیط آزمایش شامل: لانه، منبع غذایی و راههای ارتباطی

● آزمایش ۱ - دو مسیر با طول یکسان



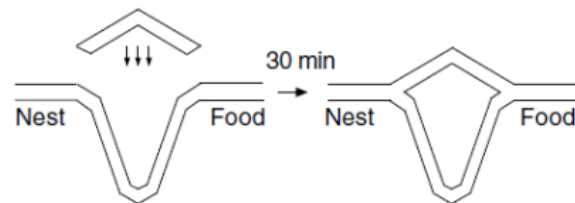
■ نتیجه: یکی به صورت تصادفی انتخاب می‌شود، اما تعداد مورچه مسیر دیگر صفر نمی‌شود.

● آزمایش ۲ - دو مسیر با طول متفاوت



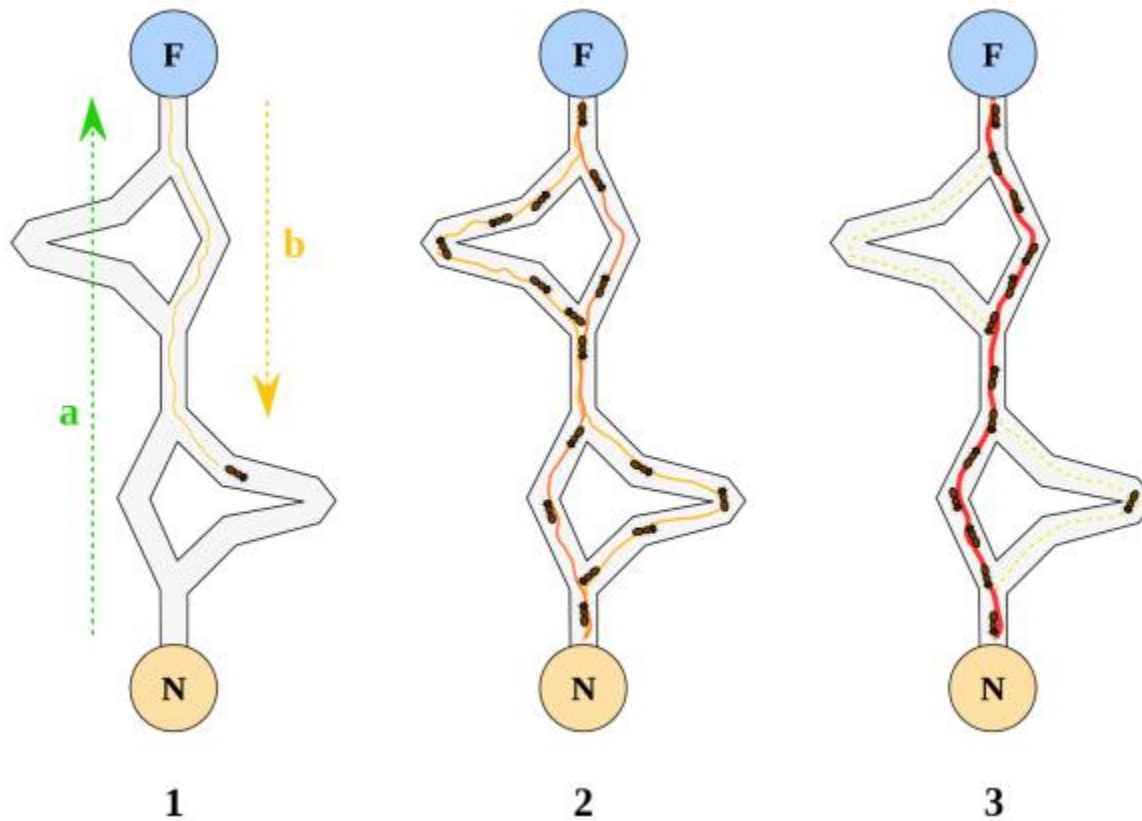
■ نتیجه: در نهایت مسیر کوتاهتر انتخاب می‌شود، اما تعداد بسیار کمی از مورچه‌ها روی مسیر طولانی باقی می‌مانند.

● آزمایش ۳ - اضافه شدن مسیر کوتاه



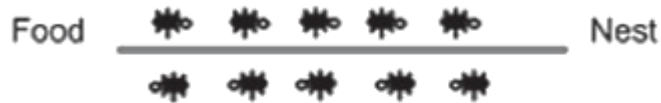
■ نتیجه: بعد از مدت زمان مناسب، مسیر کوتاه جایگزین مسیر بلند می‌شود.

همگرایی به کوتاه‌ترین مسیر بین لانه و غذا

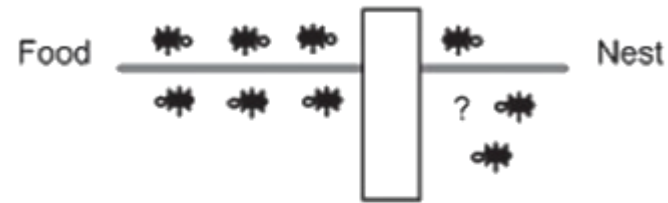


حل مسایل به صورت تطبیقی

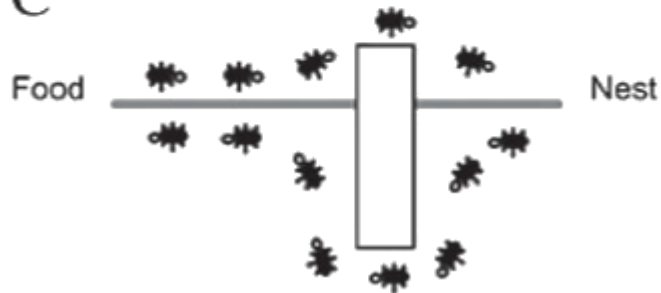
A



B



C



D



شبیه‌سازی رفتارهای مورچه‌ها

◎ شباهت مورچه‌های واقعی و مصنوعی

- همکاری بین مورچه‌ها برای مسیریابی
- انتقال اطلاعات از طریق حافظه مشترک – محیطی از طریق قرار دادن رد فرمون (pheromone)
- تصمیم‌گیری شبه تصادفی



◎ تفاوت مورچه‌های واقعی و مصنوعی

- مورچه‌های واقعی حافظه ندارند؛ مورچه‌های مصنوعی کمی از حافظه برای بازیابی مسیر برگشت به لانه استفاده می‌کنند.
- مورچه‌های واقعی همیشه در حال قراردادن فرومون روی مسیر هستند؛ مورچه‌های مصنوعی فقط در هنگام برگشت به لانه فرومون می‌ریزند.

ویرایش‌های مختلف

- ◎ بهینه سازی کلونی مورچه ساده (S-ACO)
- ◎ سیستم مورچه (ant system)
- ◎ سیستم مورچه نخبه (elitist ant system)
- ◎ سیستم مورچه رتبه‌ای (rank based ant system)
- ◎ سیستم مورچه کمینه-بیشینه (max-min any system)
- ◎ سیستم مورچه با یادگیری سریع (q-learning ant colony)
- ◎ سیستم مورچه سریع (fast ant system)

تشریح مراحل S-ACO

● در ابتدا، فرومون همه مسیر، مقدار ثابتی است.

● رفتارهای مورچه‌ها در مسیر حرکت، دو مرحله متفاوت دارد:

■ پیش‌رو (forward): حرکت مورچه از لانه به طرف غذا

○ مورچه در هر گام، از بین مسیرهای ممکن، یک مسیر را انتخاب می‌کند.

○ این انتخاب وابسته به میزان فرومون مسیر است.

○ هر چه فرومون بیشتر، احتمال انتخاب مسیر بیشتر

$$p_{ij}(k) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha}}{\sum_{l \in N_i(k)} \tau_{il}^{\alpha}} & \text{if } j \in N_i(k) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

■ پس‌رو (backward): حرکت مورچه از محل غذا به طرف لانه

○ مورچه در هنگام رسیدن به مقصد، با توجه به تابع هدف، مسیر خود را ارزیابی می‌کند.

○ مورچه در مسیر برگشت به لانه، روی مسیر انتخابی خود فرومون می‌ریزد.

○ هر چه مسیر کوتاهتر (بهتر) انتخاب شده باشد، افزایش فرومون ($\Delta\tau(k)$) در مسیر بیشتر است.

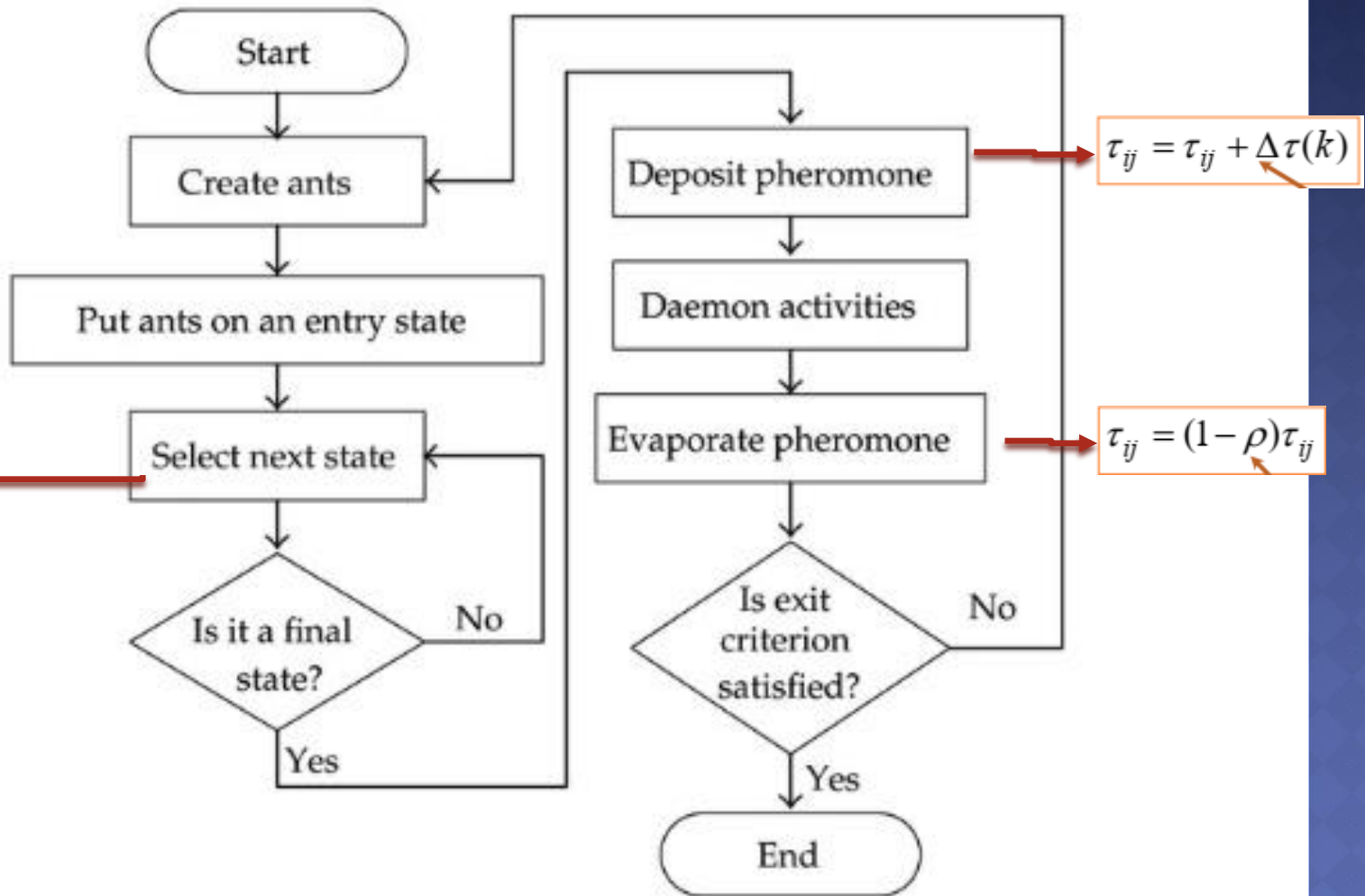
$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij}$$

● تبخیر فرومون: کاهش میزان فرومون مسیرها در طول زمان

■ فراموش کردن راه‌های غیربهرینه و ضعیف

$$p_{ij}(k) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha}}{\sum_{l \in N_i(k)} \tau_{il}^{\alpha}} & \text{if } j \in N_i(k) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

فلوچارت S-ACO



انتخاب پارامترها

● تعداد مورچه‌ها

- تعداد زیاد مورچه، ریزش زیاد فرومون روی همه مسیرها، یک مسیر خاص انتخاب نمی‌شود: واگرایی (عدم همگرایی).
- تعداد کم مورچه، عدم جستجوی تمام راهکارهای ممکن، کاهش پویندگی، همگرایی به بهینه‌های محلی.

● میزان تبخیر فرومون (پارامتر ρ)

- اگر میزان تبخیر صفر (عدم تبخیر) یا نزدیک به صفر باشد، فرومون روی مسیرها باقی می‌ماند: واگرایی.
- اگر میزان تبخیر خیلی زیاد باشد، مسیرهای جدید کشف نمی‌شوند؛ همگرایی به بهینه‌های محلی.

● پارامتر α - کنترل ارتفاع

- ارتفاع زیاد، منجر به یافتن بهینه محلی می‌شود.

مثال: حل مساله TSP با S-ACO

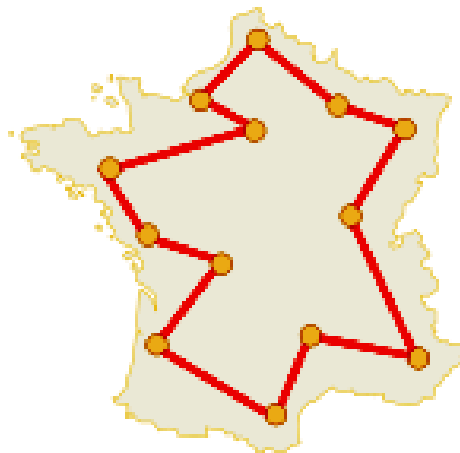
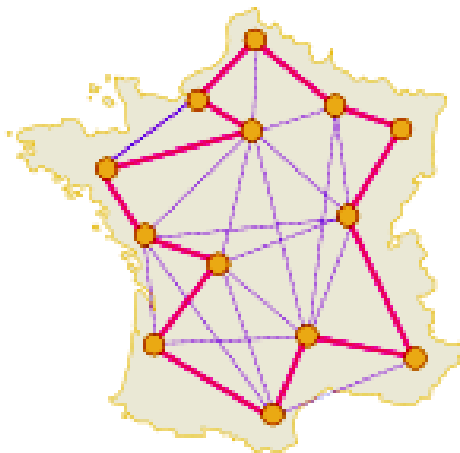
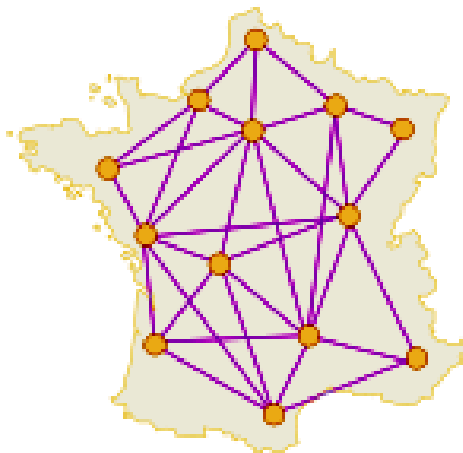
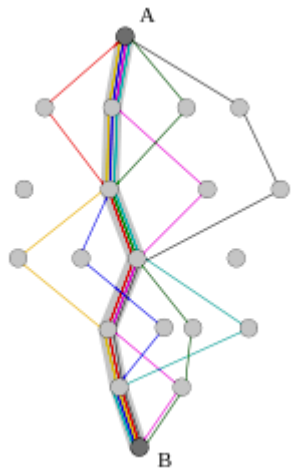
● هدف: یافتن کوتاهترین مسیر بین n شهر

● راه حل:

- تعداد مورچه ها به اندازه تعداد شهرها
- هر مورچه حرکتش را بصورت تصادفی از یکی از شهرها شروع می کند.
- هر مورچه در هر حرکت روبه جلو شهری را انتخاب می کند که تا کنون مشاهده نکرده است.
- هر مورچه در حرکت روبه عقب فرومون را متناسب با عکس فاصله مسیری که پیدا کرده است، به روز می کند.
- علاوه بر مقدار فرومون، پارامتر اکتشاف نیز دخیل است.

$$p_{ij}(k) = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{l \in N_i(k)} \tau_{il}^{\alpha} \eta_{il}^{\beta}} \text{ if } j \in N_i(k)$$

نتیجه ACO برای TSP





بهینه سازی اجتماع ذرات
PARTICLE SWARM
OPTIMIZATION
PSO

زندگی اجتماعی موجودات

- بهینه سازی اجتماع ذرات (- particle swarm optimization (PSO) شبیه سازی رفتارهای اجتماعی پرنده ها یا ماهی ها است.
- ترکیب تجارب شخصی و تجارب اجتماعی



تبادل اطلاعات بین گروهی از موجودات

- ⊙ تعدادی از موجودات که یک اجتماع را تشکیل می‌دهند، در فضای حالت برای یافتن بهترین پاسخ به جستجو می‌پردازند.
- ⊙ هر موجود حرکت خود را به نحوی تنظیم می‌کند که در عین حالی که به دنبال یافتن پاسخ بر اساس تجربه خویش است، به تجارب بقیه موجودات در اجتماع نیز توجه دارد.

$$\mathbf{v}_i(k+1) = \text{Inertia} + \text{cognitive} + \text{social}$$

شبیه‌سازی

⊙ اجتماع موجودات (swarm): مجموعه S از ذرات یا همان موجودات

⊙ موجود یا ذره (particle): یک پاسخ بالقوه

■ برای هر موجود، دو سری اطلاعات نگهدای می‌شود:

○ موقعیت (position): برداری که مکان موجود را در فضای حالت نشان می‌دهد.

$$\mathbf{x}_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,n}) \in \mathbb{R}^n$$

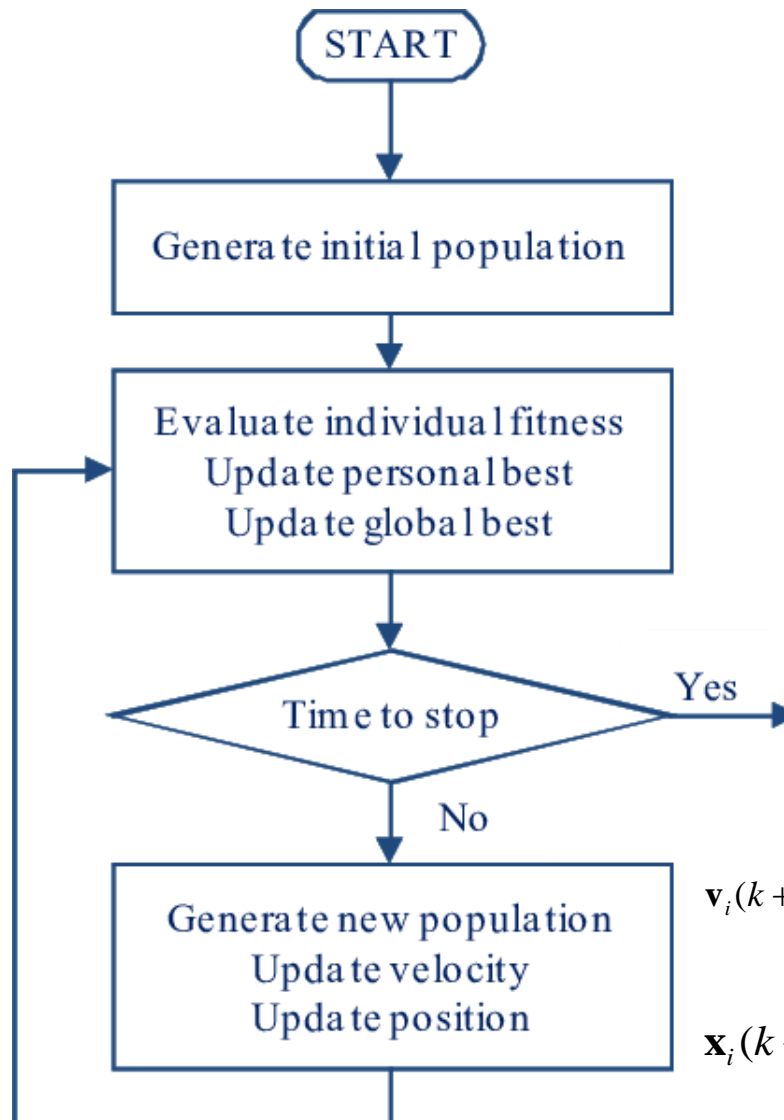
○ سرعت (velocity): برداری که میزان و جهت حرکت را در فضای حالت نشان می‌دهد.

$$\mathbf{v}_i = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,n}) \in \mathbb{R}^n$$

■ هر موجود مکان بهترین تجربه شخصی (بهترین مکانی که تا کنون مشاهده کرده است) را در Pbest نگهداری می‌کند.

■ بهترین مکانی که کل اجتماع تا کنون مشاهده کرده است در Gbest نگهداری می‌شود.

فلوچارت PSO

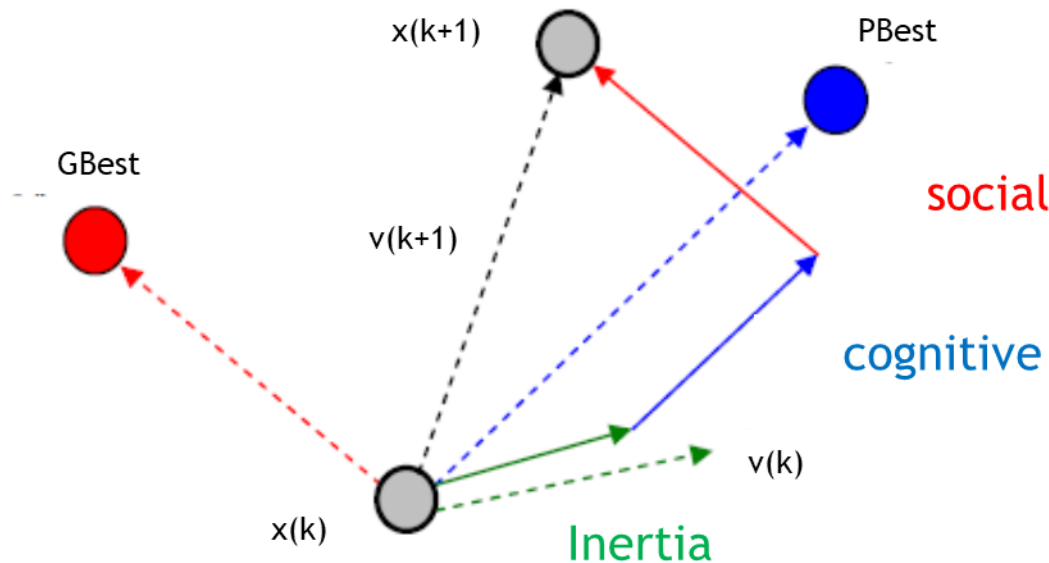


$$\mathbf{v}_i(k+1) = \text{Inertia} + \text{cognitive} + \text{social}$$

$$\mathbf{v}_i(k+1) = \omega \times \mathbf{v}_i(k) + c_1 \times \text{random}_1() \times (PBest_i - \mathbf{x}_i(k)) \\ + c_2 \times \text{random}_2() \times (GBest - \mathbf{x}_i(k))$$

$$\mathbf{x}_i(k+1) = \mathbf{x}_i(k) + \mathbf{v}_i(k+1)$$

تجسم تصویری به روز رسانی سرعت و مکان



$$\mathbf{v}_i(k+1) = \text{Inertia} + \text{cognitive} + \text{social}$$

تجسم تصویری به روز رسانی سرعت و مکان



◎ موقعیت ذره،

بهترین پاسخ

مشاهده شده ذره، و

بهترین پاسخ

مشاهده شده اجتماع

● $x(k)$ - Current solution (4, 2)

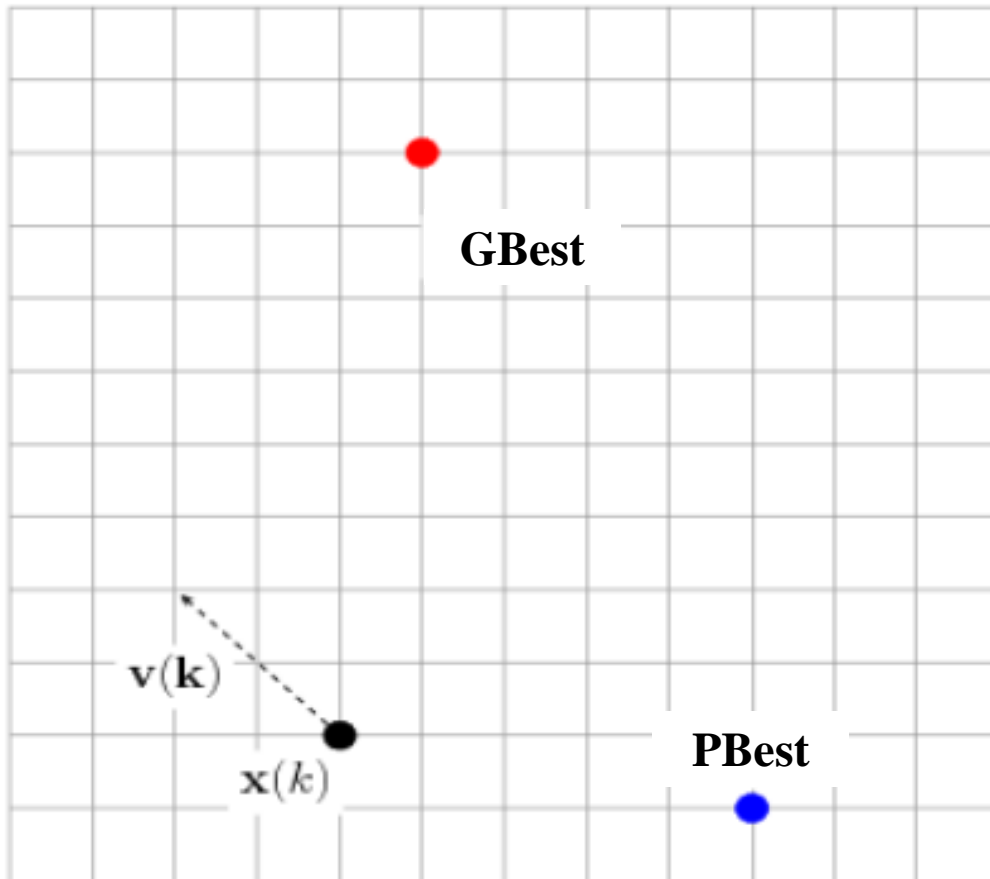
● PBest - Particle's best solution (9, 1)

● GBest-Global best solution (5, 10)

تجسم تصویری به روز رسانی سرعت و مکان

⊙ بردار سرعت ذره
(اینرسی)

Inertia: $\mathbf{v}(k) = (-2, 2)$



تجسم تصویری به روز رسانی سرعت و مکان

⊙ بردارهای تفاوت
مکان شخصی و
اجتماعی

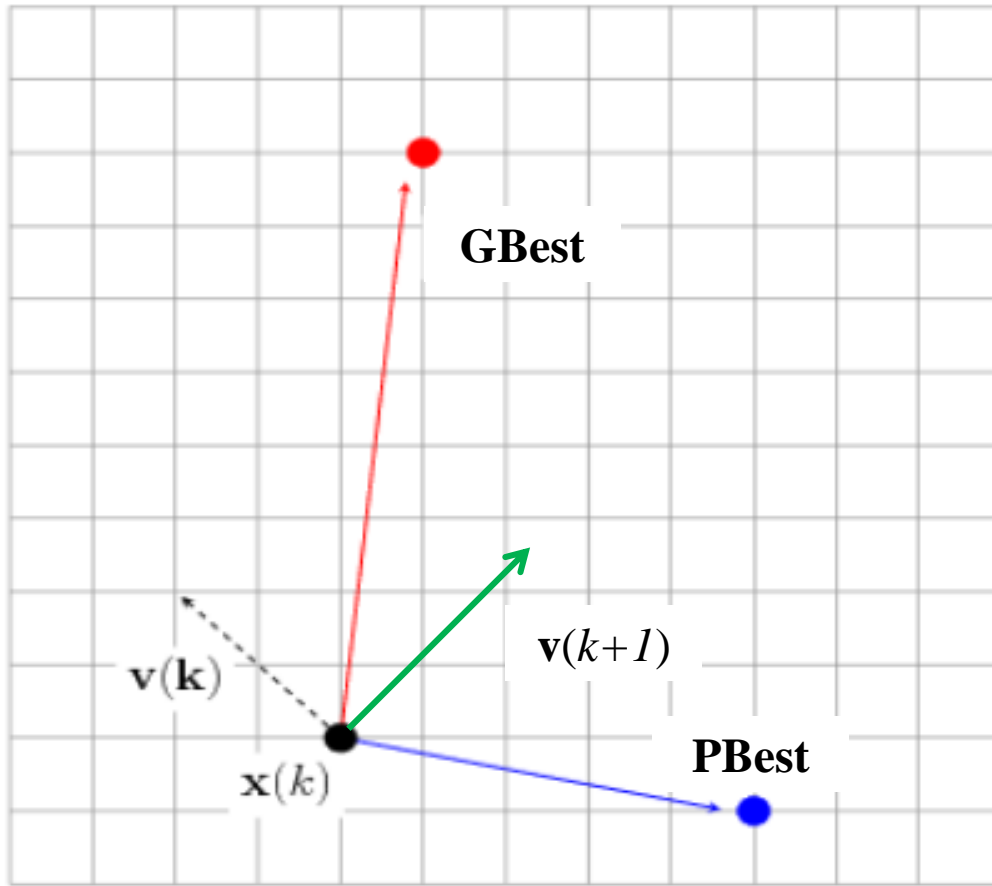


- Inertia: $v(k)=(-2,2)$
- Cognitive:
 $PBest-x(k)=(9,1)-(4,2)=(5,-1)$
- Social:
 $GBest-x(k)=(5,10)-(4,2)=(1,8)$

تجسم تصویری به روز رسانی سرعت و مکان

⊙ محاسبه بردار

سرعت جدید



➤ Inertia: $v(k)=(-2,2)$

➤ Cognitive:

$$PBest-x(k)=(9,1)-(4,2)=(5,-1)$$

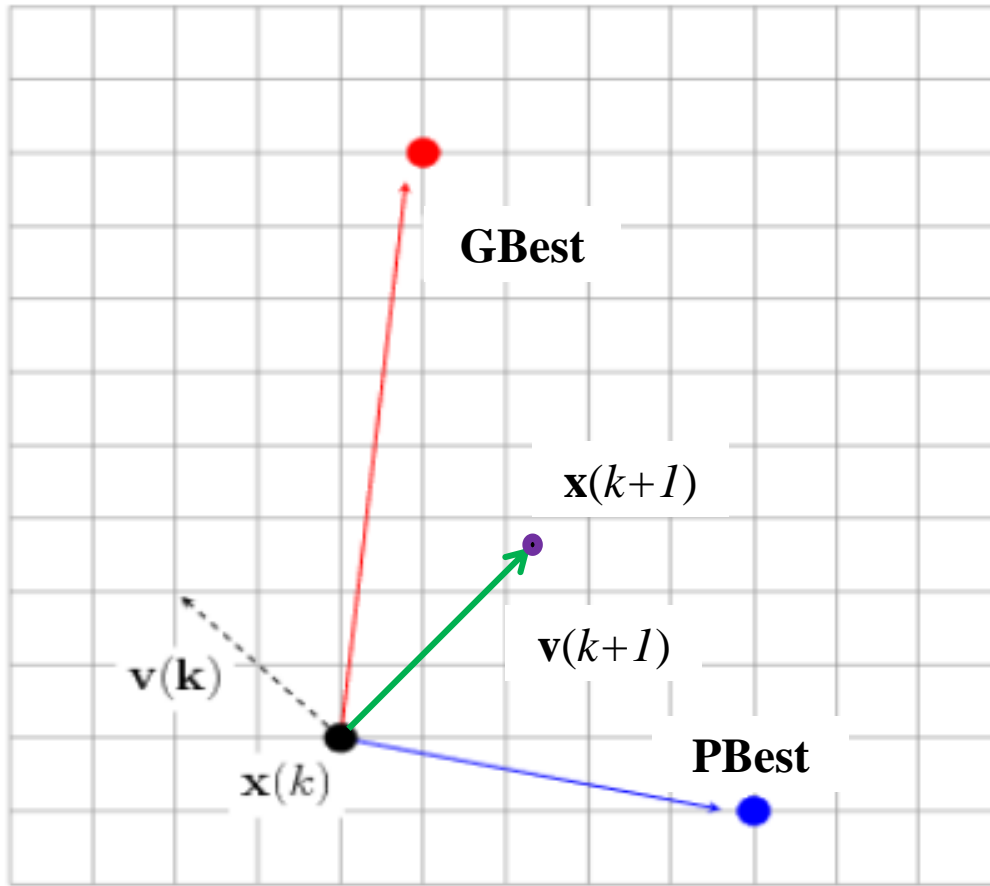
➤ Social:

$$GBest-x(k)=(5,10)-(4,2)=(1,8)$$

$$v(k+1)=(-2,2)+0.8*(5,-1) \\ +0.2*(1,8) = (2.2,2.8)$$

تجسم تصویری به روز رسانی سرعت و مکان

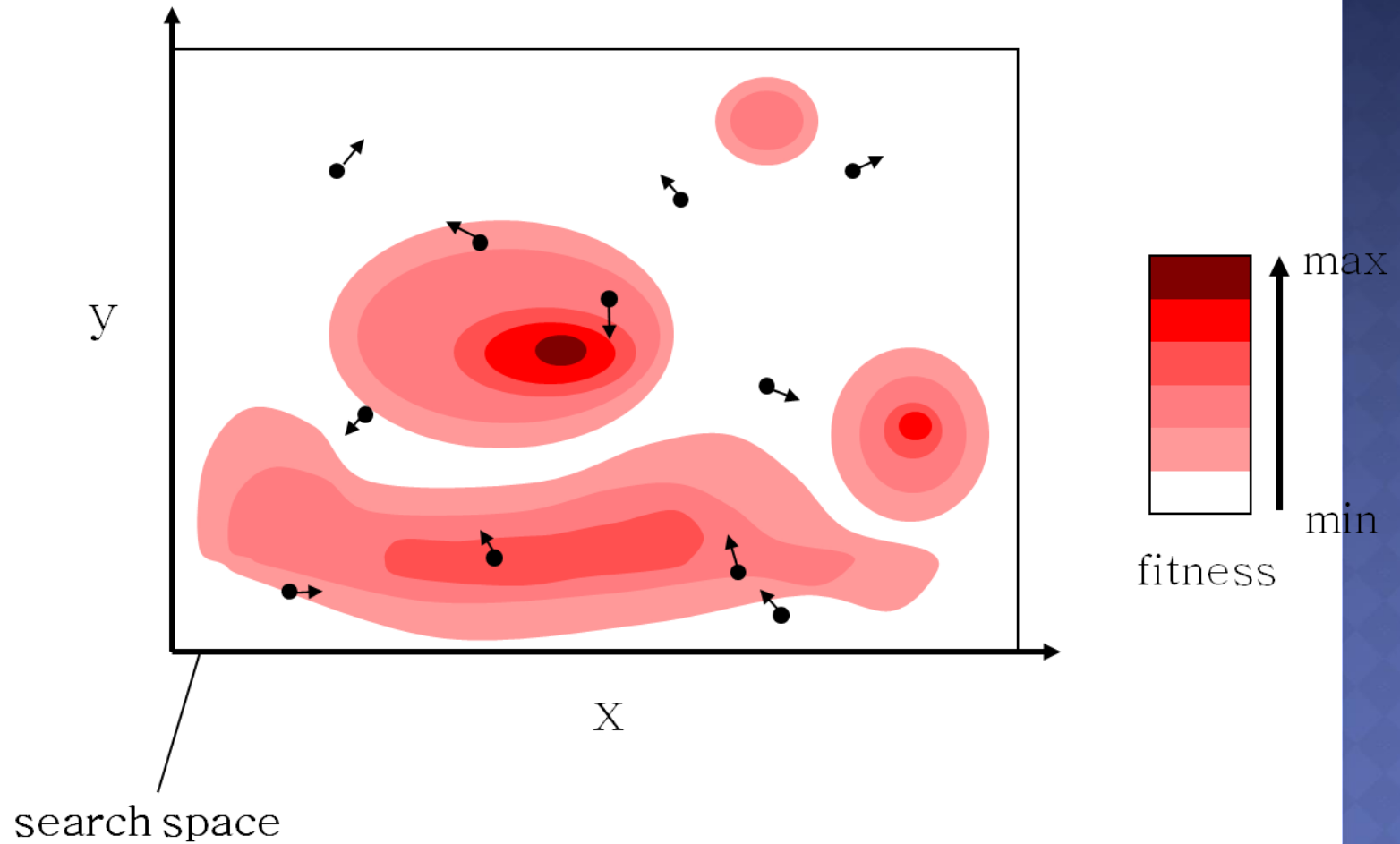
⊙ محاسبه مکان جدید



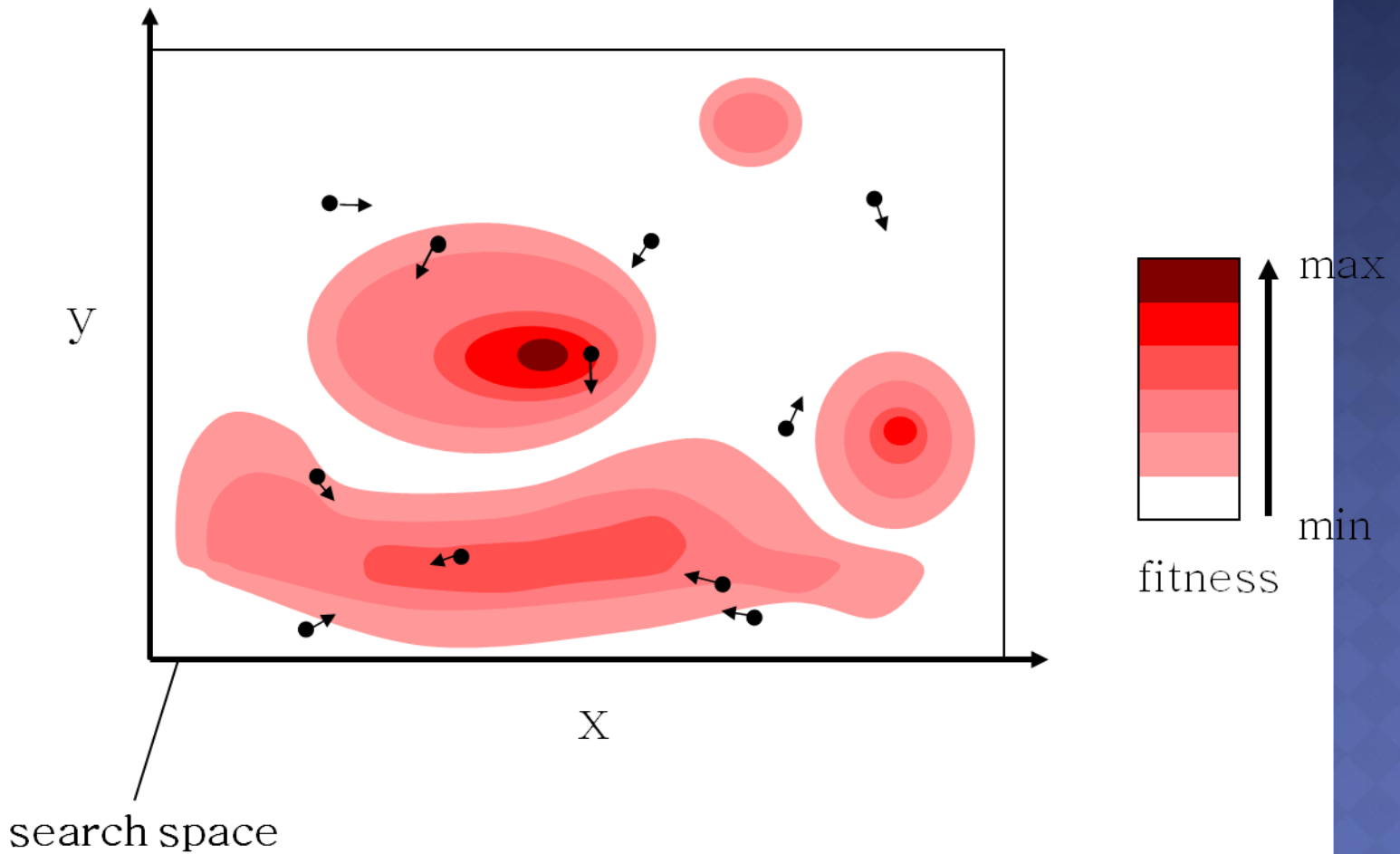
- Inertia: $\mathbf{v}(k)=(-2,2)$
- Cognitive:
 $\text{PBest}-\mathbf{x}(k)=(9,1)-(4,2)=(5,-1)$
- Social:
 $\text{GBest}-\mathbf{x}(k)=(5,10)-(4,2)=(1,8)$
- $\mathbf{v}(k+1)=(2.2,2.8)$

$$\begin{aligned}\mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k+1) \\ &= (4,2) + (2.2,2.8) = (6.2,4.8)\end{aligned}$$

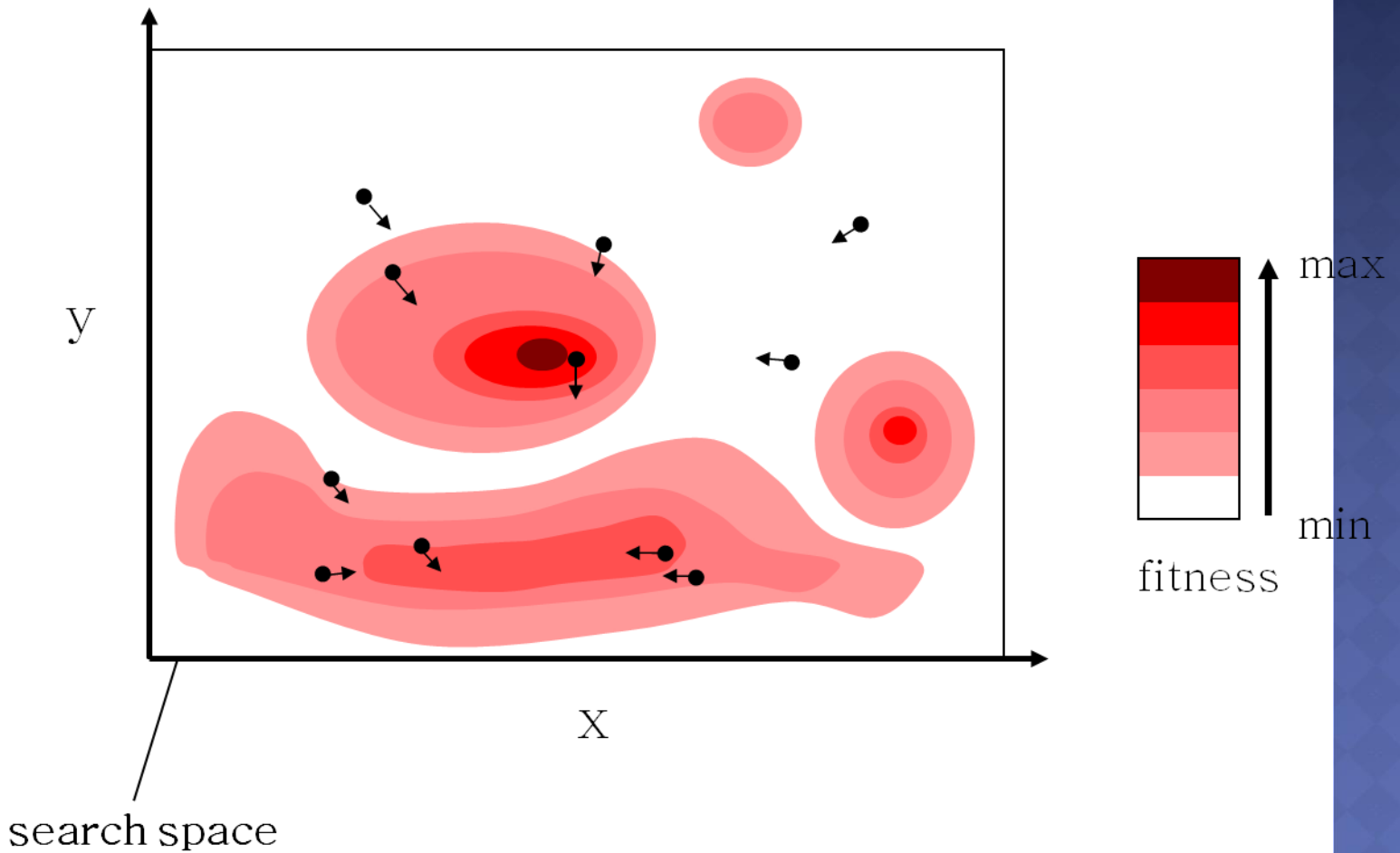
مثال تصویری PSO



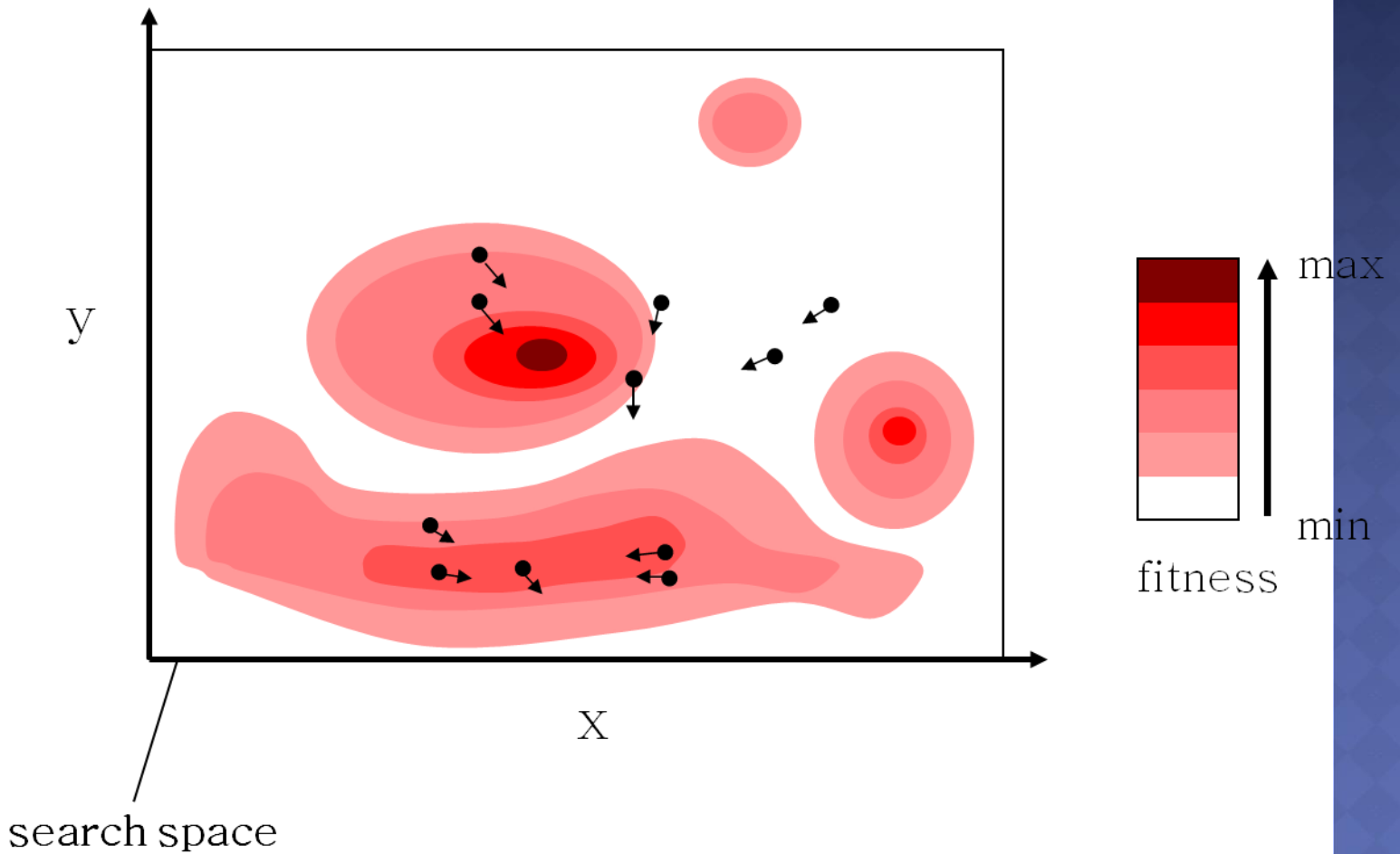
مثال تصویری PSO



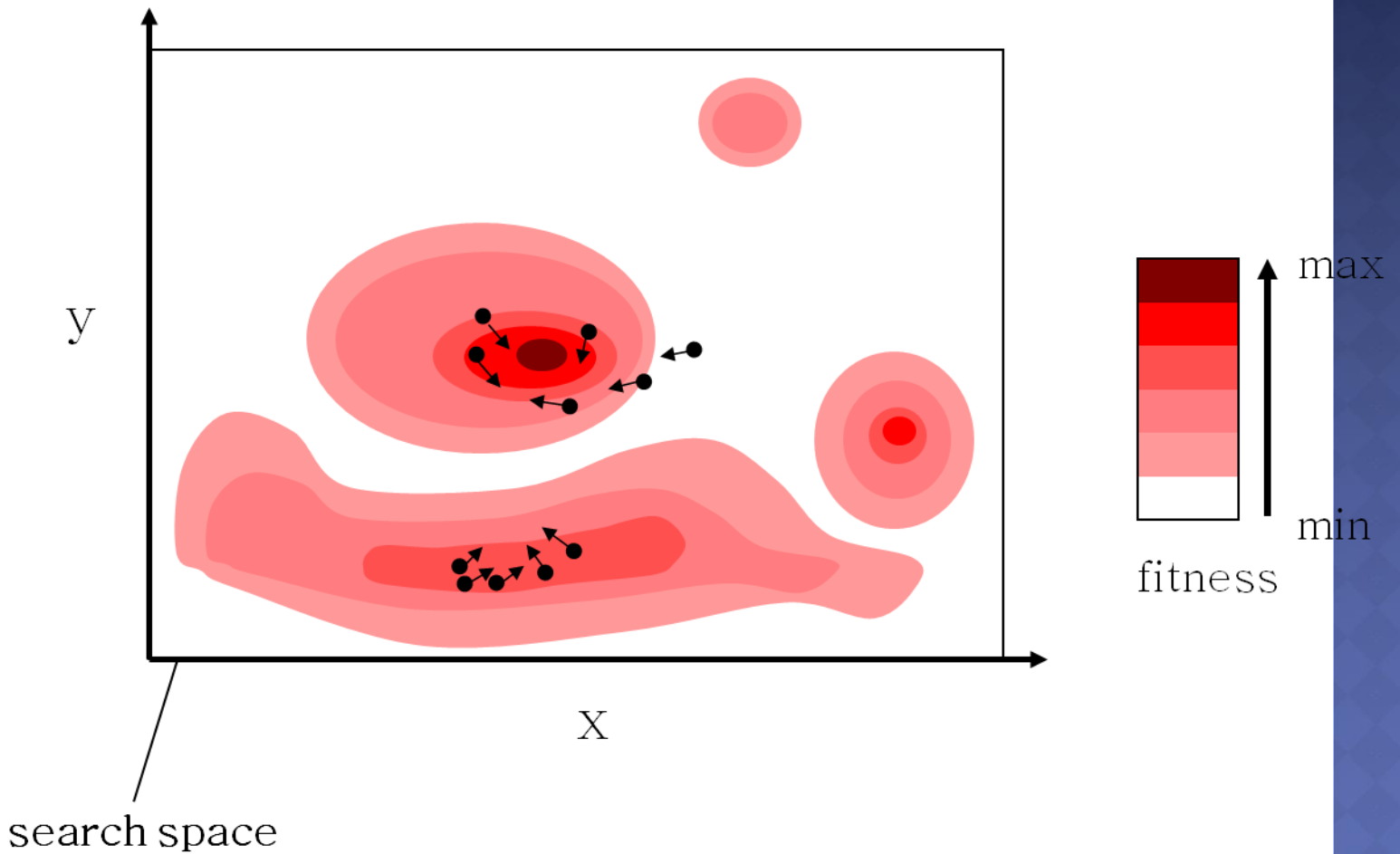
مثال تصویری PSO



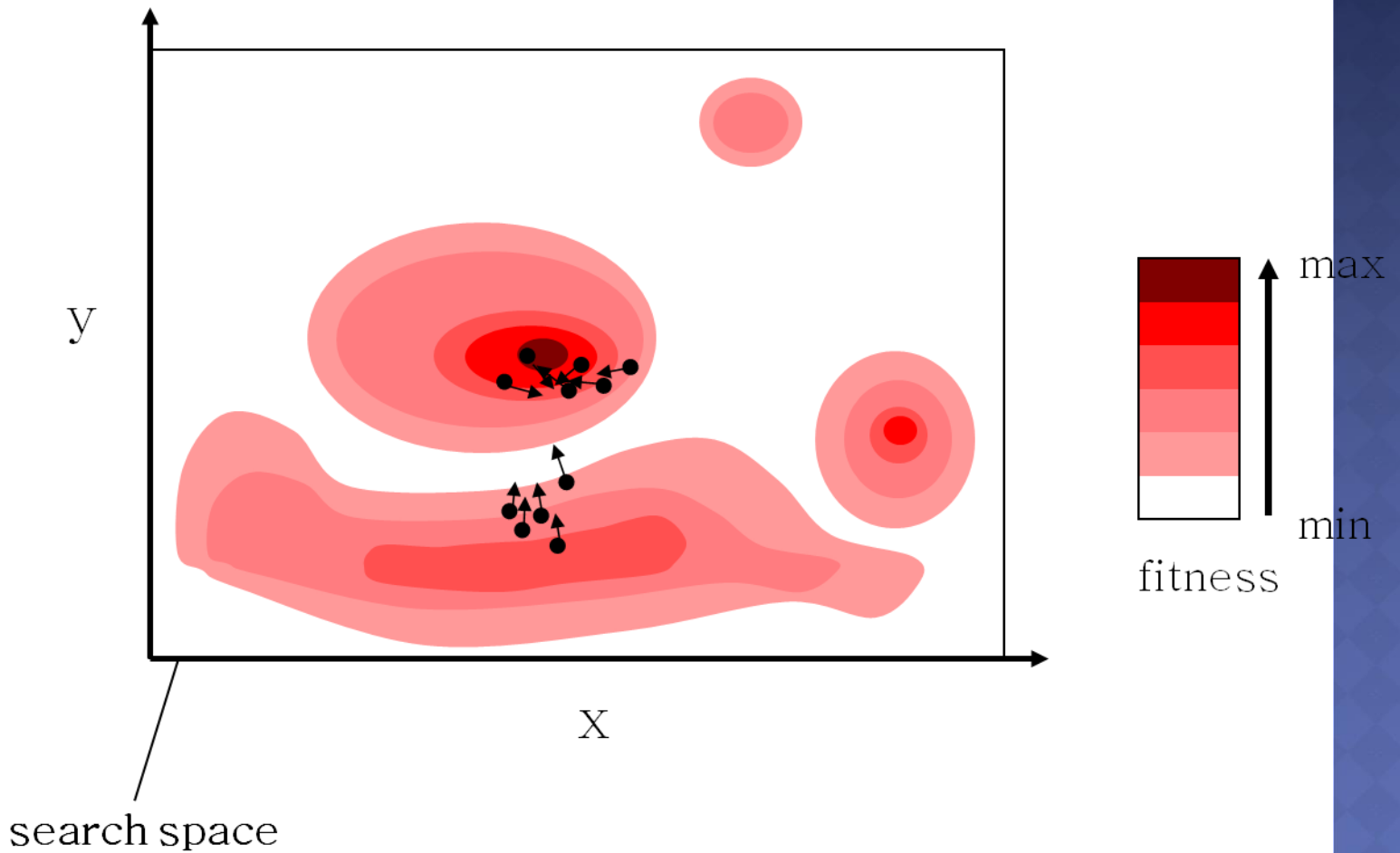
مثال تصویری PSO



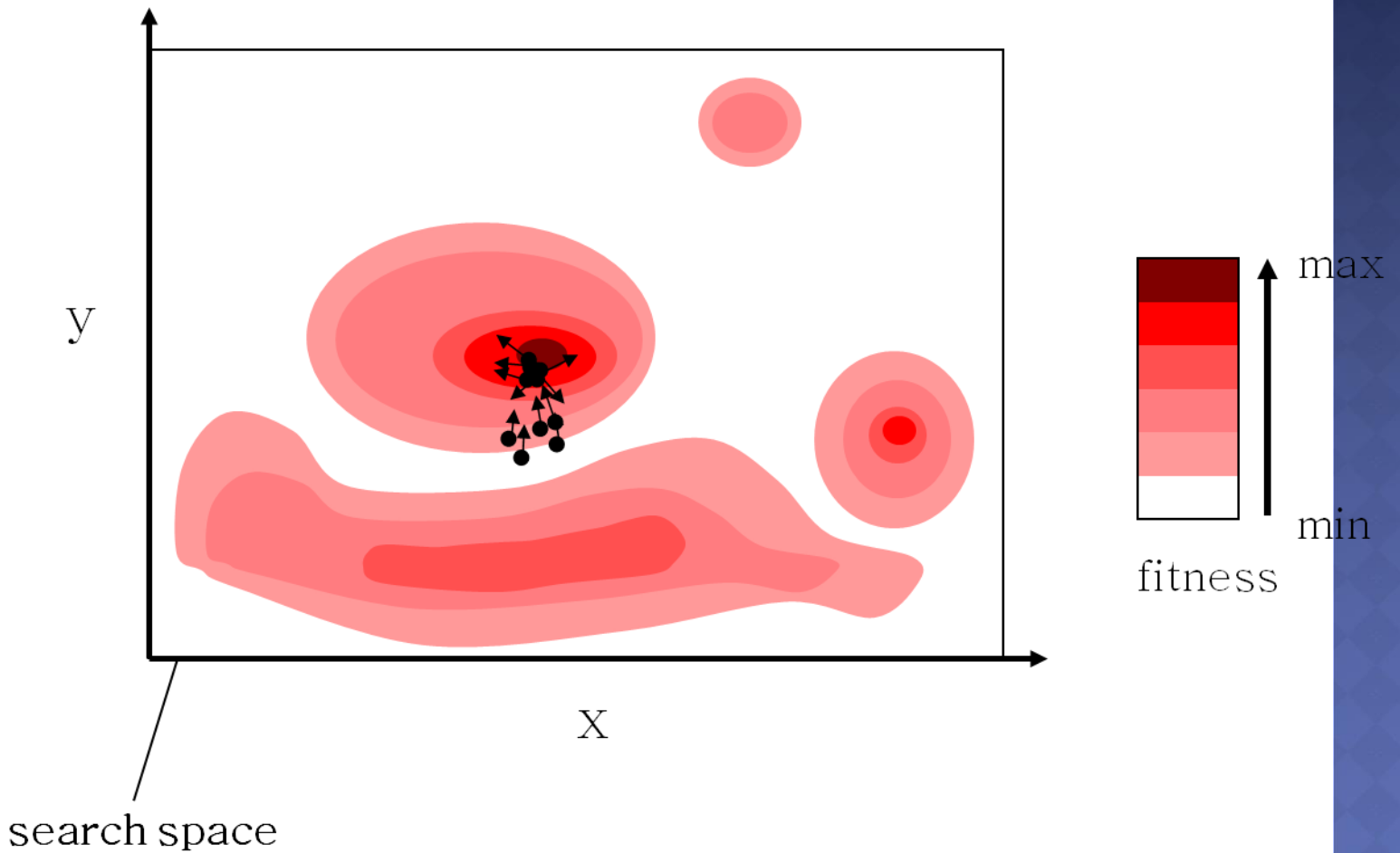
مثال تصویری PSO



مثال تصویری PSO



مثال تصویری PSO



مثال تصویری PSO

