

НИУ «Московский Энергетический Институт (ТУ)»
Кафедра Теоретической Механики и Мехатроники

Научно-исследовательская работа

по теме:

«Исследование методов искусственного интеллекта в групповом управлении роботами»

Выполнил: ст. гр. С-11-07 Дедков В.А.

Научный руководитель: профессор Кирсанов М.Н.

Москва 2012

Введение.

Роботы используются во многих областях науки, техники и промышленности, в первую очередь там, где жизнедеятельность "человека либо затруднена, либо вообще невозможна, например, в зонах радиоактивного или химического загрязнения, в условиях боевых действий, при проведении подводных или космических исследований и т.п. Проблеме создания роботов различного назначения посвящено достаточно большое число исследований, проводимых как у нас в стране, так и за рубежом, начиная с середины 60-х годов прошлого века. В результате этих исследований достаточно хорошо проработаны основные проблемы, с которыми приходится сталкиваться разработчикам при создании роботов, такие как распознавание объектов и сцен, формирование моделей окружающей среды, планирование маршрутов движения и последовательностей действий для достижения цели, управление движением с учетом динамики роботов и т.д.

В то же время стало понятно, что одиночный робот, каким бы интеллектуальным он ни был, может использоваться только для решения некоторых частных задач, либо выполнения довольно простых операций, поскольку он, как правило, обладает сравнительно малыми возможностями для выполнения поставленной задачи (небольшой радиус действия, ограниченный бортовым энергоресурсом; небольшое число выполняемых функций, ограниченное набором исполнительных устройств, невысокая вероятность выполнения поставленной задачи при функционировании в экстремальных ситуациях, поскольку выход из строя одиночного робота ведет к невыполнимости его миссии и т.п.).

Очевидным решением указанных выше проблем является применение при решении сложных задач сразу нескольких роботов, то есть групп роботов.

Преимущества группового применения роботов очевидны. Это и больший радиус действия, достигаемый за счет рассредоточения роботов по всей рабочей зоне; и расширенный набор выполняемых функций, достигаемый за счет установки на каждый робот индивидуальных исполнительных устройств; и, наконец, более высокая вероятность выполнения задания, достигаемая за счет возможности перераспределения целей между роботами группы в случае выхода из строя некоторых из них. Поэтому такие сложные задачи как, например, масштабное исследование и зондирование поверхности других планет, сборка сложных конструкций в космосе и под водой, участие в боевых и обеспечивающих операциях, разминирование территорий и т.п., могут быть эффективно решены роботами только при их групповом взаимодействии. При этом возникают новые проблемы группового управления и коммуникации, связанные с организацией группового взаимодействия роботов.

Краткий обзор исследований в области групповой робототехники

Основные исследования в области управления группами роботов ведутся во многих индустриально развитых странах мира, прежде всего в интересах обороны. Наиболее интенсивный характер этих работ применительно к направлению военной робототехники наблюдается в США по линии Управления перспективных исследований Министерства обороны США ДАРПА (DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency). Здесь следует выделить программу "Распределенные робототехнические системы", которая финансировалась этим агентством и выполнялась рядом ведущих университетов и научно-исследовательских организаций США.

В настоящее время разработке методов организации взаимодействия в группах роботов на основе децентрализованного способа управления посвящены исследования, проводимые под патронажем управления DARPA в рамках программ "Программное обеспечение для распределенных робототехнических систем" (Software for Distributed Robotics (SDR)), "Программное обеспечение автономных мобильных роботов" (Mobile Autonomous Robot Software (MARS)) и MARS-2020.

Самыми разнообразными исследованиями в области групповой робототехнике занимаются европейский проект I-SWARM и проект Swarm-bots, координатором которого является изобретатель муравьиного алгоритма Марко Дориго. Многие статьи из обзора литературы были взяты из публикаций в рамках этих проектов.

При групповом применении роботов, решающих единую крупную целевую задачу, роботы должны определенным образом взаимодействовать друг с другом с тем, чтобы как можно более эффективно решить поставленную задачу в условиях сложной среды, когда ситуация может изменяться непредсказуемым образом. При этом понятно, что методы и алгоритмы планирования и управления групповыми действиями роботов должны изначально разрабатываться с учетом необходимости их реализации в реальном времени на основе бортовых вычислительных устройств. Чтобы достичь поставленной цели, группа роботов должна действовать как нечто единое целое, и действия каждого отдельного робота должны быть направлены на получение наибольшего группового эффекта. В работах, посвященных проблеме группового управления, такие действия часто называются командными, а по отношению к группам роботов, способных к такому взаимодействию, применяется термин "команда роботов". Ученые однозначно приходят к выводу, что командное взаимодействие может быть эффективно реализовано только с использованием методов децентрализованного (распределенного) управления.

Таким образом, актуальной является научная проблема группового управления интеллектуальными роботами, функционирующими автономно в условиях сложной, недетерминированной, динамической среды. Решение данной проблемы позволит, во-первых, значительно расширить области применения роботов, во-вторых, вплотную приблизиться к решению

проблемы массового применения микророботов в составе больших групп, насчитывающих тысячи и десятки тысяч микророботов. Применение групп роботов, способных выполнять сложные работы, например, при ликвидации последствий природных или техногенных катастроф, рост числа которых наблюдается в последнее время, в свою очередь, позволит снизить риск для людей в условиях вредных или даже опасных сред, сократить затраты, связанные с обеспечением безопасности, увеличить производительность предприятий и т.п.

Решением проблемы группового управления занимались многие известные ученые, в нашей стране - И.М. Макаров, Д.Е. Охоцимский, Е.П. Попов, Е.И. Юревич, И.А. Каляев, В.Е. Павловский, А.В. Тимофеев и др., за рубежом -Т. Фукуда, Т. Балч, Р. Аркин, М. Матарик, М. Диас, М. Велосо и др.

Цель работы

Целью работы является исследование различных алгоритмов и методов искусственного интеллекта в групповом управлении роботами, при случайном равномерном распределении роботов и целей на плоскости (на поле), в зависимости от различных начальных условий задачи (например, число роботов, число целей, размеры поля) и входных параметров исследуемых алгоритмов.

Методы исследований

Исследования было решено проводить, моделируя поведение группы роботов на плоскости с помощью программы. Для написания программы был выбран язык и среда программирования MATLAB, учитывая его вычислительную мощь, обширную библиотеку функций, ориентированность на технические вычисления, широкую распространенность в научной среде.

На прямоугольном поле случайным образом размещались роботы (розовые точки) и цели (черные точки). Перед роботами ставилась задача посетить все цели с минимальным суммарным расстоянием и минимальным суммарным углом поворота.

Вводится ряд допущений: траектория движения робота – ломаная линия, роботы движутся с одинаковыми постоянными скоростями, в точках поворота (узлах ломаной) – робот поворачивается мгновенно, роботы не сталкиваются, препятствий их движению нет, объекты и роботы – материальные точки.

Описание проведения исследований

Исследования проводились для

- 5 и 25 роботов
- 10, 25, 50, 75, 100 числа целей

на поле размером 100x100 с шагом робота 1.5.

Для каждого возможного случая проводились 3 эксперимента, затем вычислялось среднее значения суммарного пути и суммарного угла поворота всех роботов. Данные заносились в таблицу и строились графики.

Все эксперименты проводились для двух случаев: поиск целей с помощью алгоритма имитации отжига (SA далее) и поиск целей с помощью муравьиного алгоритма (ACO далее).

Средние значения суммарных путей и углов наносились на графики.

Описание работы программы

- I. Записываем в файл с данными начальные условия задачи (размеры поля, число роботов, число целей, координаты роботов и целей)
- II. Пока число роботов меньше либо равно числу целей (число целей уменьшается, когда робот достигает цели.), выполняем действия:
 1. Для всех роботов ищем цели одним из алгоритмов (ACO или SA – алгоритм задается при запуске программы)
 2. «Шагаем» в цикле к целям каждым из роботов. (Выглядит это, словно все роботы шагают к целям одновременно: полный цикл – один групповой шаг). Уменьшаем число целей на число достигнутых целей (если такие есть).
 3. Если хотя бы один из роботов в п. II.2 достигает цели (примечание: п. II.2 – это полный цикл, а не одна итерация), переходим к п. II.1 или к п. III (если число целей стало меньше числа роботов).
- III. Теперь число роботов больше числа городов. Для программы (это значит, что на вход алгоритмам ACO или SA мы подаем обновленные значения роботов и городов) роботы становятся городами, а города – роботами. Выглядит это всё равно так, как будто роботы шагают к городам. Подпункты данного шага III повторяют подпункты шага II. Шаг III выполняем, пока число городов больше 0.

Описание реализации алгоритма имитации отжига

(англ. *Simulated annealing*, SA далее)

В цикле из n итераций выполняем следующие шаги:

- I. Случайным образом выбираем 2 роботов в перестановке.
- II. Меняем этих 2 роботов местами в перестановке.
- III. Цикл по перестановке
 1. Ищем кратчайший путь для каждого робота в перестановке.
 2. Вычисляем угол поворота для каждого робота в перестановке, соответствующий кратчайшему пути.
 3. Вычисляем суммарный путь и суммарный угол для данной перестановки
- IV. Если суммарный путь и суммарный угол уменьшились:
 1. Устанавливаем новые координаты для роботов (которые планируем вернуть из алгоритма) в значения, соответствующие текущей перестановке.
 2. Утверждаем текущую перестановку роботов в качестве новой перестановки.
- V. Иначе даём шанс текущей перестановке стать новой перестановкой:
 1. Вычисляем вероятность выбора худшего решения по формуле
$$P = e^{\frac{-(S-S_{min})}{T}}$$
 2. Если $P < P_0$, где P_0 – некоторое случайное число, то утверждаем текущую перестановку роботов в качестве новой перестановки.
- VI. Каждую fre -тую итерацию (число $freq$ подается на вход алгоритма) уменьшаем параметр T по формуле
$$T = \alpha T,$$
(α также является входным параметром алгоритма).

Описание реализации муравьиного алгоритма

(англ. *Ant colony optimization*, ACO далее)

В цикле из n итераций выполняем следующие шаги:

- I. Случайным образом выбираем 2 роботов в перестановке.
- II. Меняем этих 2 роботов местами в перестановке.
- III. Цикл по перестановке
 1. Ищем ACO-пути для каждого робота в перестановке, используя формулу для вероятности перехода робота на j -й итерации главного цикла из его вершины i в перестановке в вершину j списка целей

$$P_{ij,k} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_m \tau_{im}^{\alpha} \eta_{im}^{\beta}}$$

где τ_{ij} — количество феромона, оставленного роботом на дуге $[i, j]$; η_{ij} — величина, обратная весу (длине) дуги $[i, j]$; α, β — эмпирические коэффициенты. Функция $P_{ij,k}$ подсказывает роботу номер вершины j , в которую он должен направиться. Индекс m в сумме пробегает по всем не пройденным вершинам, смежным с i .

Таким образом, для робота k, i составляется список из m вероятностей, соответствующий вершинам, в которые робот может направиться. С большей вероятностью робот направится в вершину, которой соответствует большая вероятность $P_{ij,k}$

2. Устанавливаем приращение феромону, соответствующему ACO-пути для каждого робота

$$d\tau_{ij} := d\tau_{ij} + Q\eta_{ij}$$

(Q — масштабная константа порядка длины маршрута, выбирается пропорциональной порядку графа).

3. Вычисляем угол поворота для каждого робота в перестановке, соответствующий ACO-пути.
 4. Вычисляем суммарный путь и суммарный угол для данной перестановки
- IV. Если суммарный путь и суммарный угол уменьшились:
1. Устанавливаем новые координаты для роботов (которые планируем вернуть из алгоритма) в значения, соответствующие текущей перестановке.

2. Утверждаем текущую перестановку роботов в качестве новой перестановки.

V. Обновляем феромоны

1. Добавление новых следов

$$\tau_{ij} := \tau_{ij} + \gamma d\tau_{ij}$$

2. Испарение феромона

$$\tau_{ij} := \tau_{ij}(1 - \gamma)$$

(γ является входным параметром алгоритма).

Промежуточные результаты

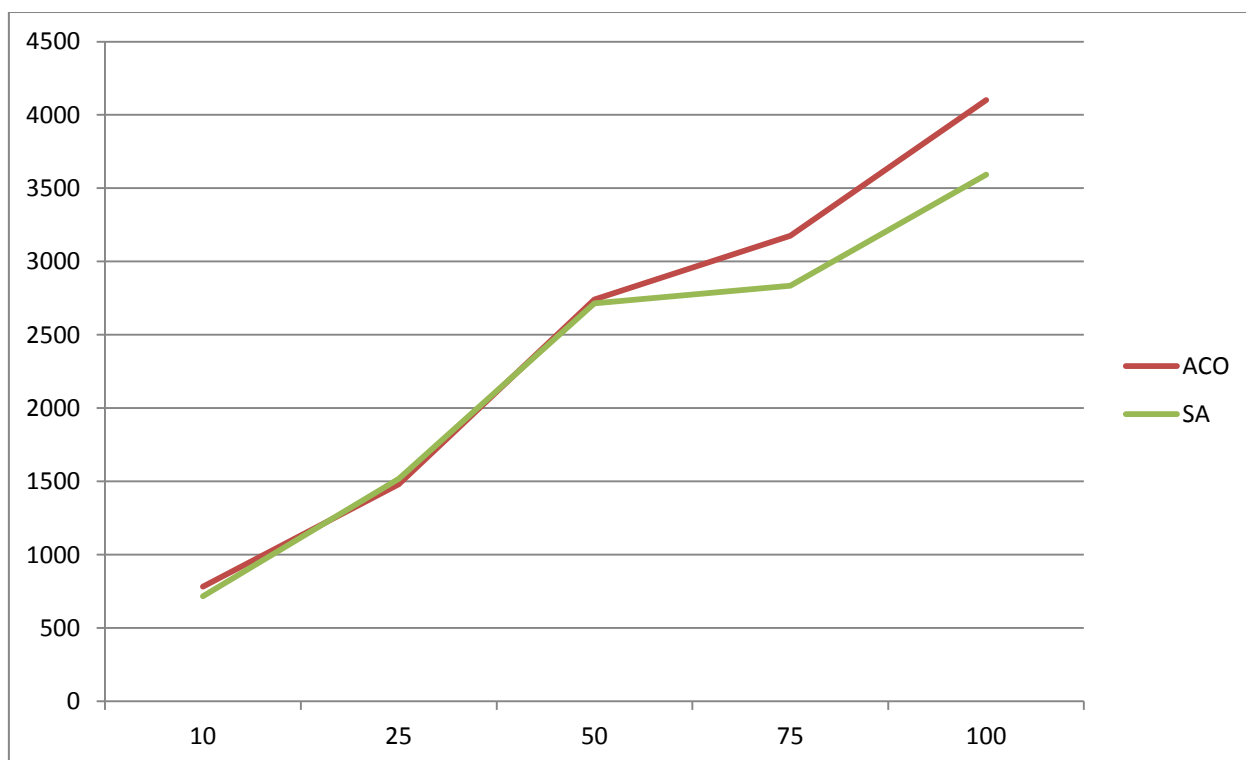
ACO работал с параметрами $\gamma = 0.7, \alpha = 2, \beta = 10$ на числе итераций $n = 100$.

SA работал с параметрами $freq = 2, \alpha = 0.8$ на числе итераций $n = 60$.

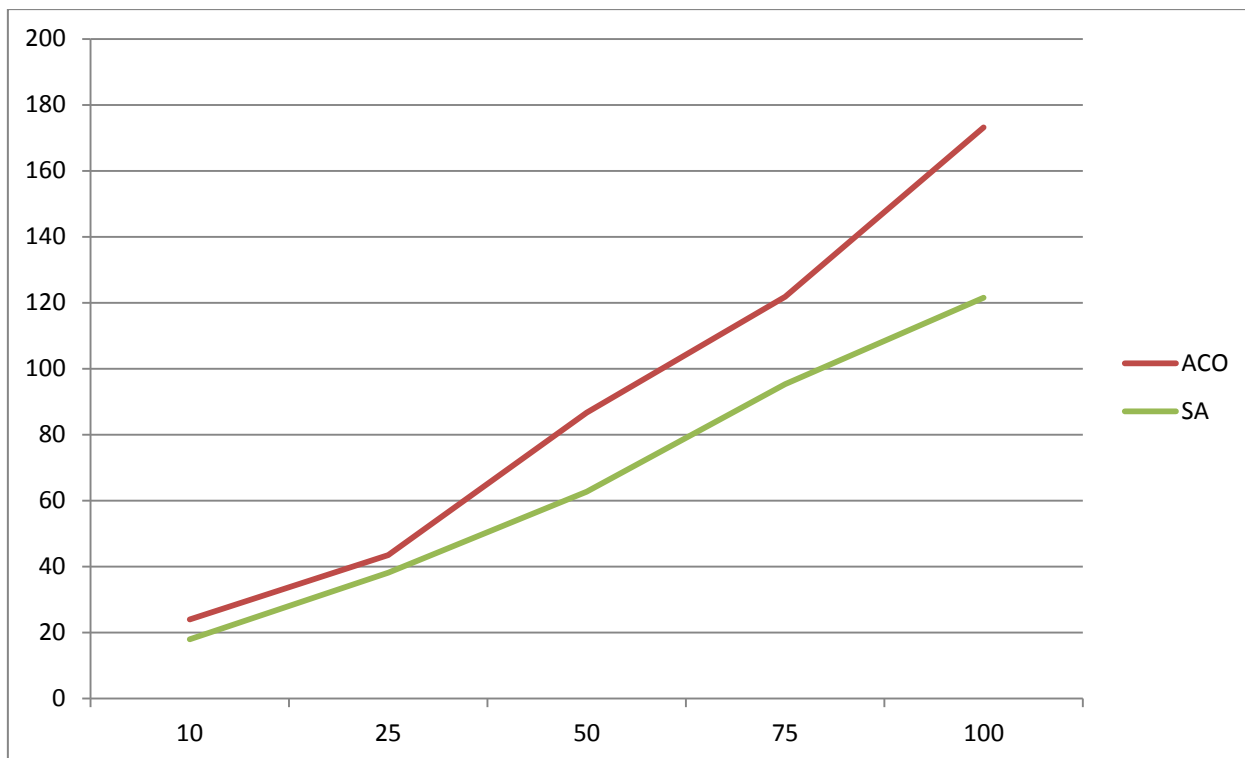
Результаты экспериментов для 5 роботов

Число целей	роботов 5	ACO				SA			
		№ опыта	№ опыта	№ опыта	Среднее	№ опыта	№ опыта	№ опыта	Среднее
		1	2	3	Среднее	1	2	3	Среднее
10	S	736,8355	971,3996	639,0395	782,4249	566,6406	857,1895	723,8573	715,8958
	Ang	22,2811	26,7688	22,9782	24,00937	12,5369	18,7415	22,7899	18,02277
25	S	1593,638	984,8524	1862,123	1480,204	1825,314	1013,134	1713,776	1517,408
	Ang	41,3433	40,8735	48,2675	43,49477	40,1048	38,7284	35,7485	38,1939
50	S	2854,536	2419,159	2952,242	2741,979	2778,902	2381,103	2983,893	2714,633
	Ang	92,2761	74,9021	92,9624	86,71353	64,8423	56,6347	66,7009	62,72597
75	S	3314,435	3069,247	3144,757	3176,146	2926,788	2544,885	3034,001	2835,225
	Ang	133,9688	107,3153	124,2778	121,854	92,3735	94,4691	99,1823	95,34163
100	S	4175,345	4353,957	3772,835	4100,712	3139,989	4064,414	3574,329	3592,911
	Ang	189,6303	177,9501	151,8882	173,1562	108,1721	124,3909	132,1661	121,5764

Зависимость суммарного пройденного пути от числа целей



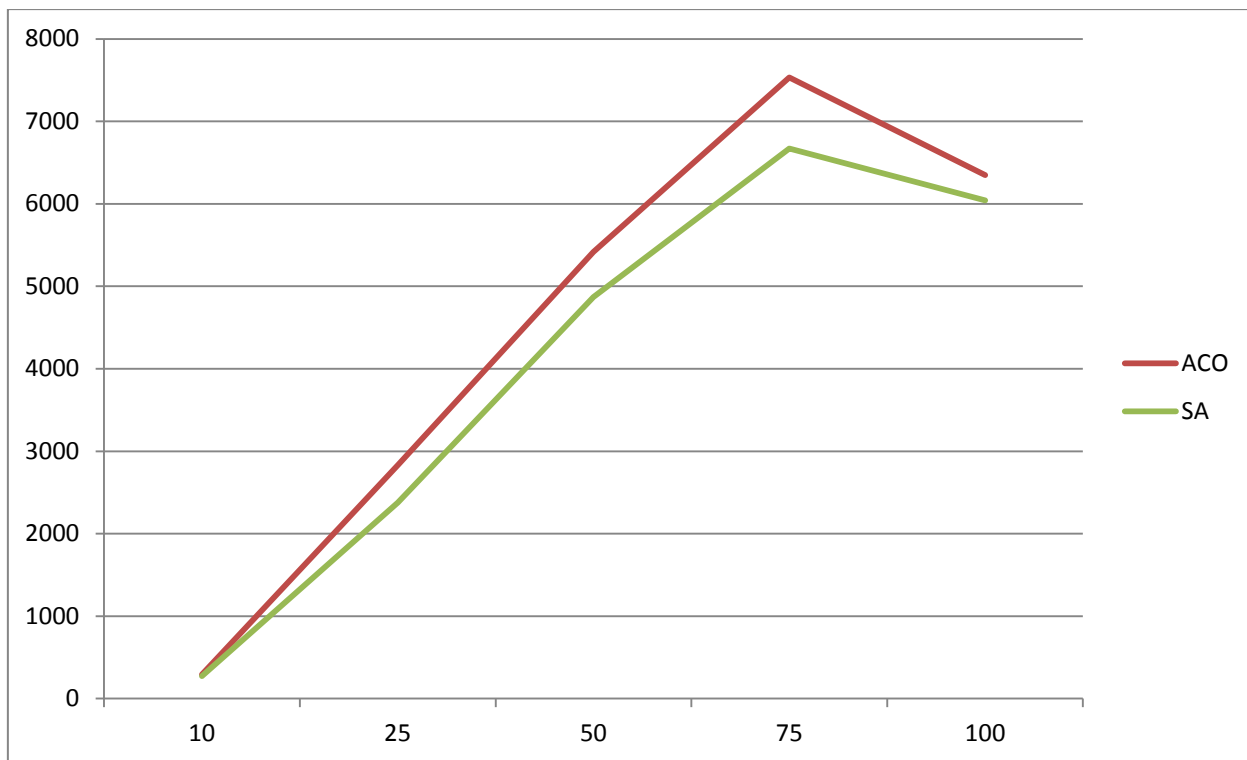
Зависимость суммарного угла поворота от числа целей



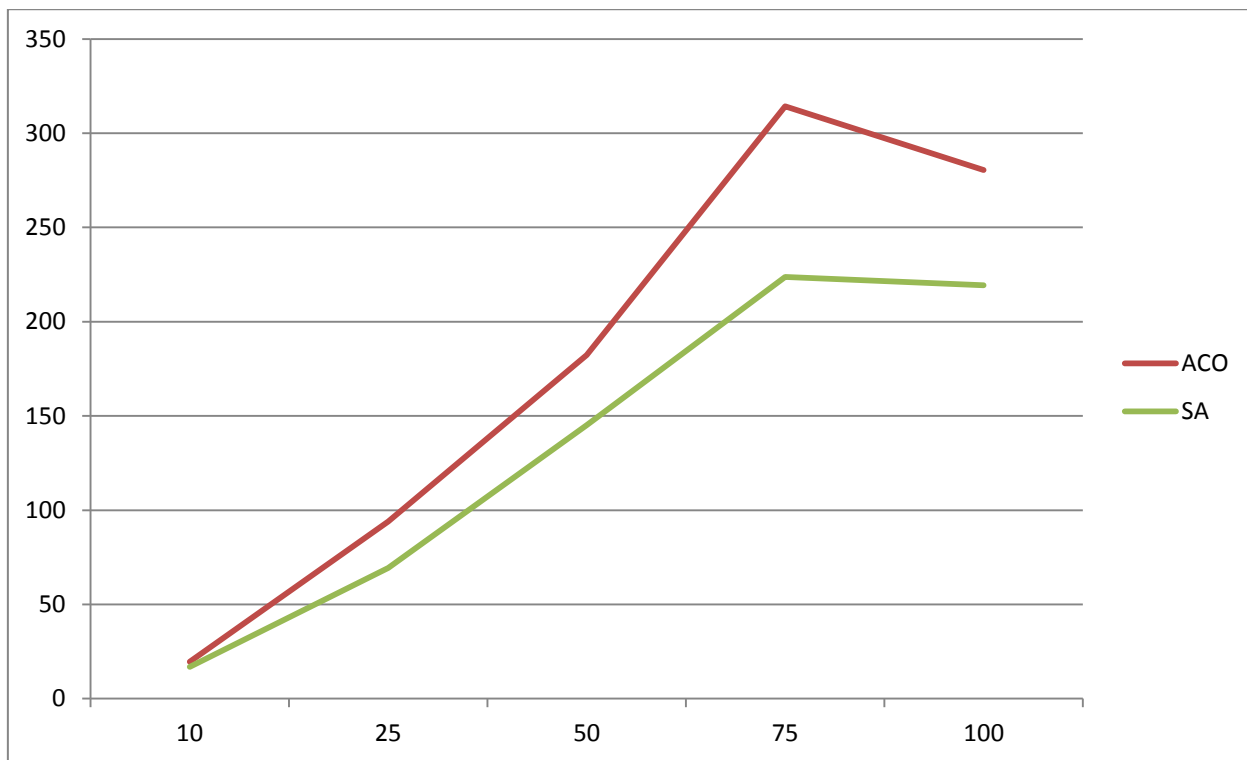
Результаты экспериментов для 25 роботов

Число роботов	целей	ACO				SA				
		№ опыта	№ опыта	№ опыта	Среднее	№ опыта	№ опыта	№ опыта	Среднее	
25	10	S	317,2626	338,0249	225,7912	293,6929	266,637	338,0249	216,4415	273,7011
		Ang	20,1699	20,8818	17,7366	19,5961	11,8569	20,8818	17,8761	16,8716
	25	S	3458,718	2686,216	2346,584	2830,506	2748,091	2138,69	2241,913	2376,231
		Ang	99,7665	88,416	93,5625	93,915	61,0333	74,1086	72,7973	69,31307
	50	S	5968,922	4788,841	5489,151	5415,638	5323,425	4621,469	4667,049	4870,648
		Ang	200,4583	162,6331	183,8955	182,329	160,1766	132,2663	142,6417	145,0282
	75	S	7306,886	10140,13	5144,956	7530,657	6557,238	8853,85	4595,715	6668,934
		Ang	319,4948	352,3869	270,6666	314,1828	248,7757	230,5737	191,6727	223,674
	100	S	6086,838	7026,438	5928,91	6347,395	7665,114	5727,763	4728,469	6040,448
		Ang	293,6192	306,0733	241,7185	280,4703	244,9477	209,5243	203,4546	219,3089

Зависимость суммарного пройденного пути от числа целей



Зависимость суммарного угла поворота от числа целей



Промежуточные выводы

Практически во всех случаях SA показал лучшие результаты, чем ACO. Интересную особенность можно заметить для числа роботов 25: когда число целей становится больше чем 75, суммарный путь и суммарный угол начинают уменьшаться. Такой странный на первый взгляд результат объясняется тем, что плотность роботов на плоскости становится достаточно большой, и каждый робот формирует свой «домен» целей – ему не приходится ходить далеко за целями.