

Международная научная конференция
«Цифровая индустрия: состояние и перспективы развития 2020»
Челябинск, 17-18 ноября 2020 г.



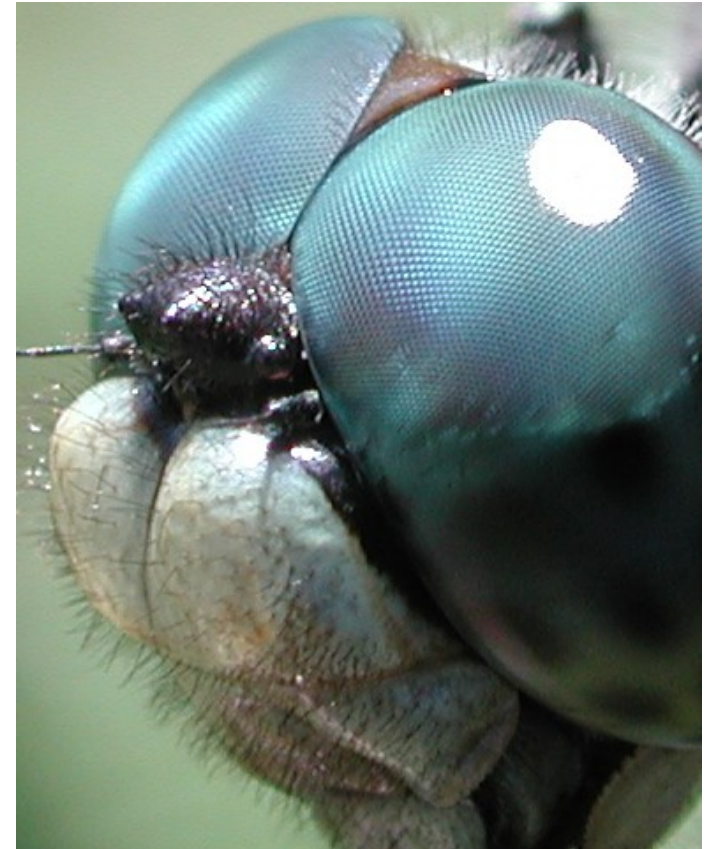
Двумерная модель системы фасеточного зрения

Р.С. Федянина

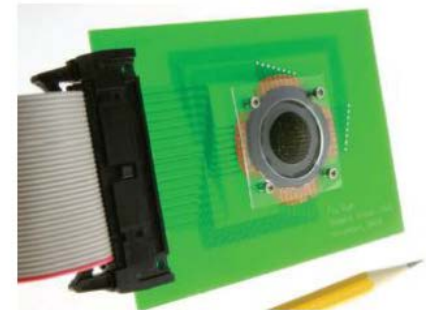
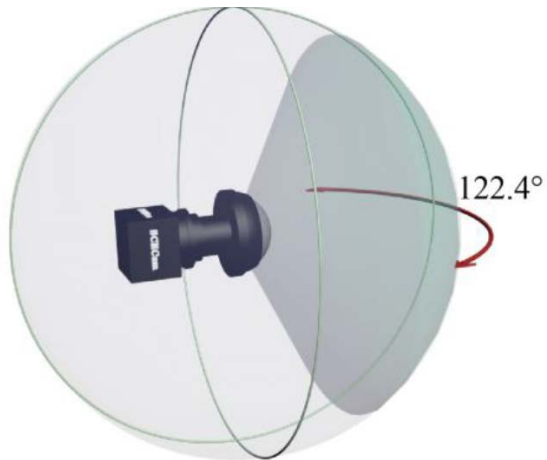
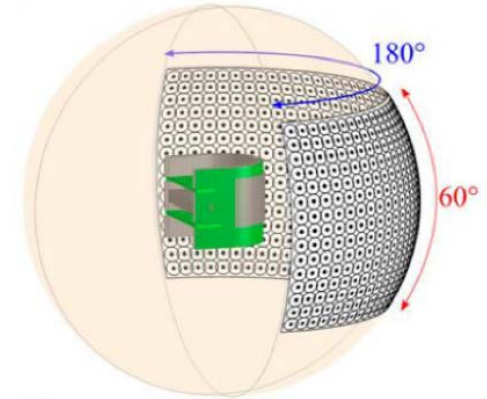
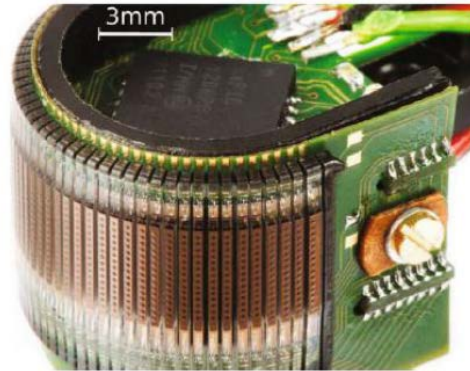
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Основные преимущества фасеточного зрения насекомых

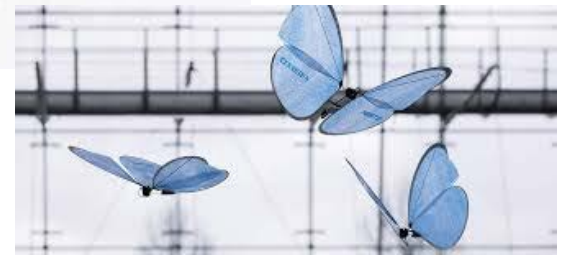
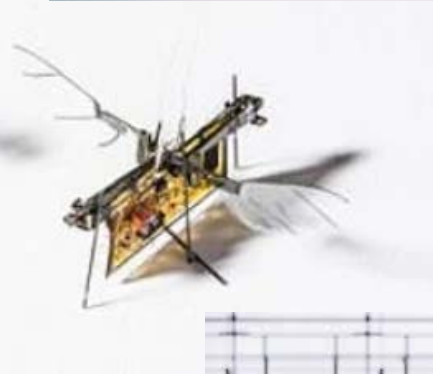
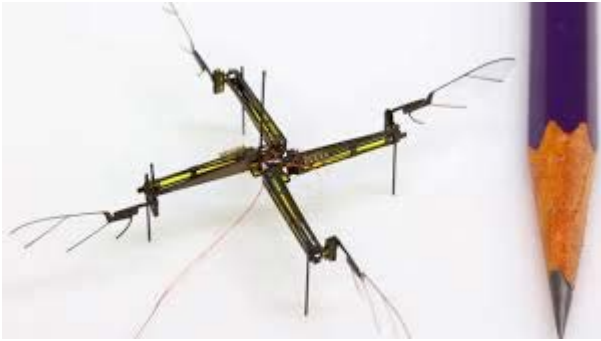
- Компактные размеры
- Широкое поле обзора
- Высокая чувствительность к движущимся объектам
- Отсутствие движущихся элементов (простое управление)



Системы искусственного фасеточного зрения



Автономные робототехнические устройства



Цель работы

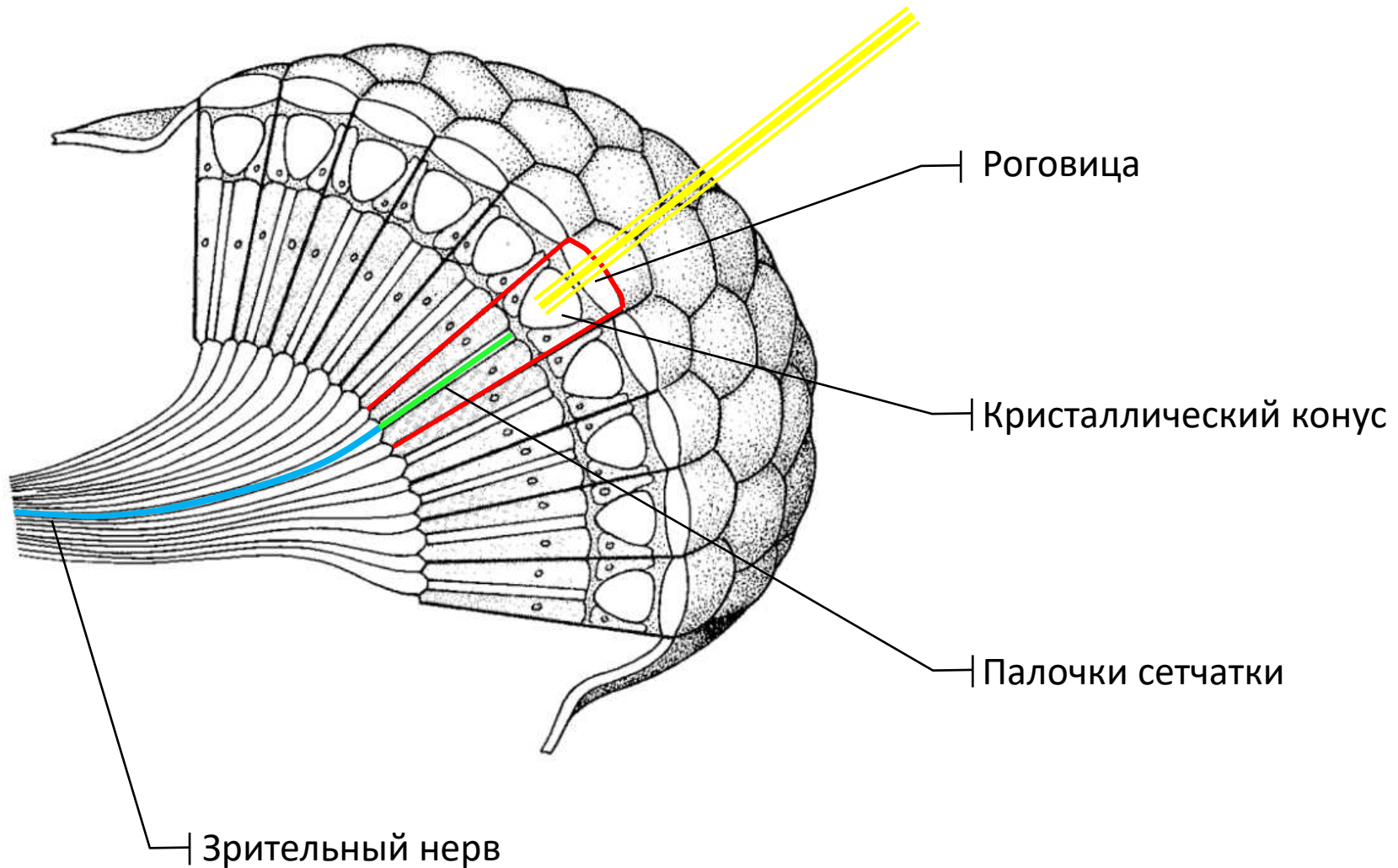
- Построение математической модели двумерного фасеточного зрения
- Создание на основе полученной модели множества прецедентов для обучения искусственной нейронной
- Обучение глубокой нейронной сети, которая будет способна определять азимут и расстояние до наблюдаемого объекта



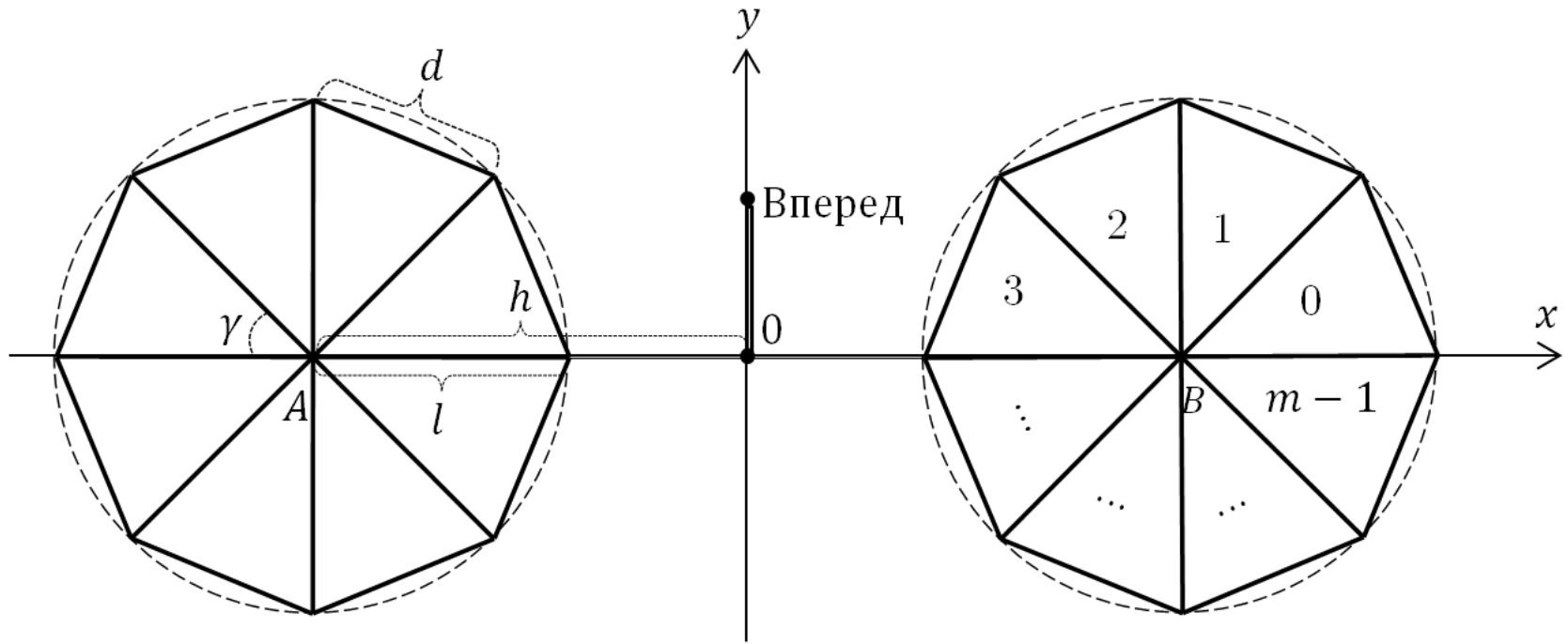
Возможности 2-мерной модели

- «От простого к сложному»: построить сначала 2-мерную модель, затем перейти к 3-мерной
- Двумерная модель фасеточного зрения позволит решать задачи навигации робототехнического устройства и детектирования объектов на плоскости

Структура аппозиционного фасеточного глаза



Модель двумерного фасеточного зрения



- l — радиус фасеточного глаза
- h — расстояние от центра глаза до центра системы
- m — количество омматидиев в одном глазу
- d — диаметр омматидия
- γ — внутренний угол омматидия

Переход к полярной системе координат

- Центр полярной системы координат совпадает с центром фасеточного глаза
- Угол откладывается от оси абсцисс

$$r_A = \sqrt{(x+h)^2 + y^2}$$

$$r_B = \sqrt{(x-h)^2 + y^2}$$

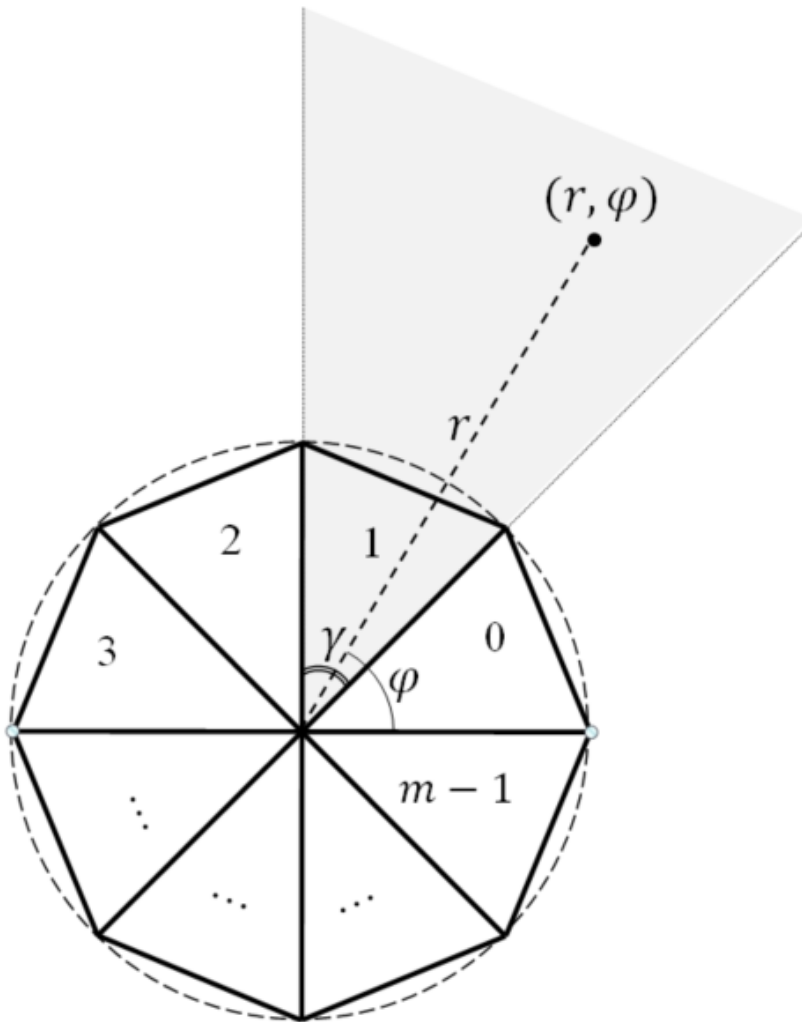
$$\varphi_A = \begin{cases} \arcsin\left(\frac{y}{r}\right) & | y \geq 0 \wedge x+h \geq 0 \\ \pi - \arcsin\left(\frac{y}{r}\right) & | y \geq 0 \wedge x+h < 0 \\ \pi + \arcsin\left(\frac{|y|}{r}\right) & | y < 0 \wedge x+h < 0 \\ 2\pi - \arcsin\left(\frac{|y|}{r}\right) & | y < 0 \wedge x+h \geq 0 \end{cases}$$

Левый глаз

$$\varphi_B = \begin{cases} \arcsin\left(\frac{y}{r}\right) & | y \geq 0 \wedge x-h \geq 0 \\ \pi - \arcsin\left(\frac{y}{r}\right) & | y \geq 0 \wedge x-h < 0 \\ \pi + \arcsin\left(\frac{|y|}{r}\right) & | y < 0 \wedge x-h < 0 \\ 2\pi - \arcsin\left(\frac{|y|}{r}\right) & | y < 0 \wedge x-h \geq 0 \end{cases}$$

Правый глаз

Область видимости омматидия



Угол с вершиной в центре фасеточного глаза, границы которого совпадают с радиальными границами омматидия

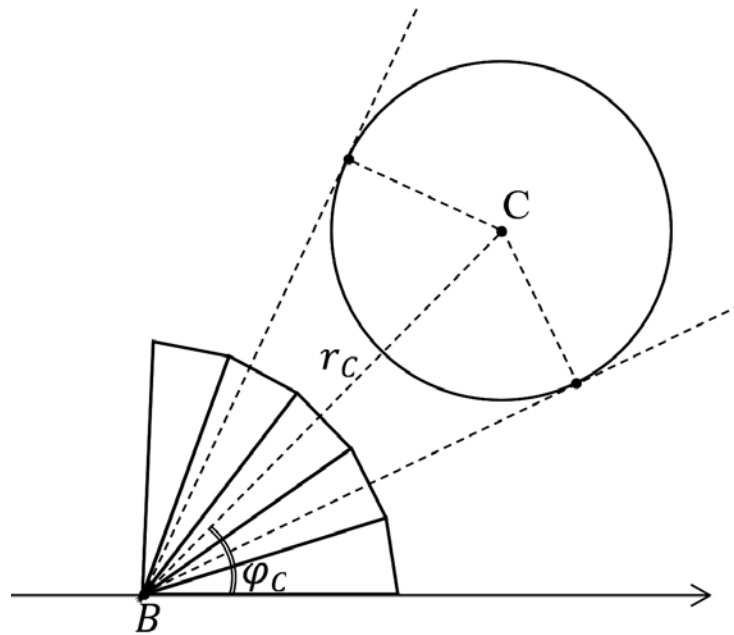
Утверждение об области видимости омматидия

Номер омматидия k , в область видимости которого попадает точка с полярными координатами (r, φ) , определяется по формуле

$$k = \left\lfloor \frac{m}{2\pi} \varphi \right\rfloor$$

m — количество омматидиев фасеточного глаза

Утверждение о наблюдаемой окружности

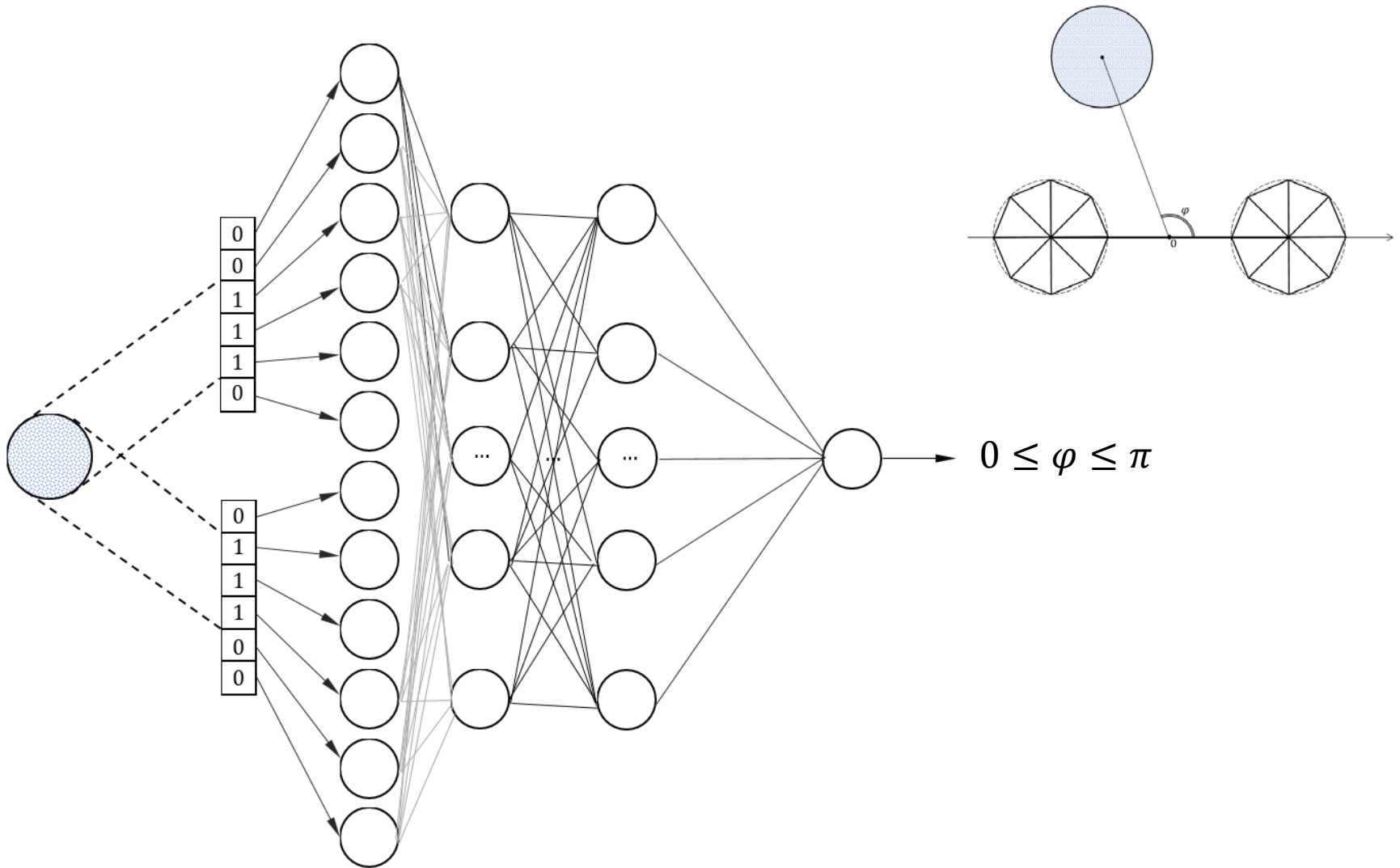


Окружность с центром в точке $C = (r_C, \varphi_C)$ и радиусом g_C попадает в область видимости омматидия с номером k в том, и только в том случае, когда

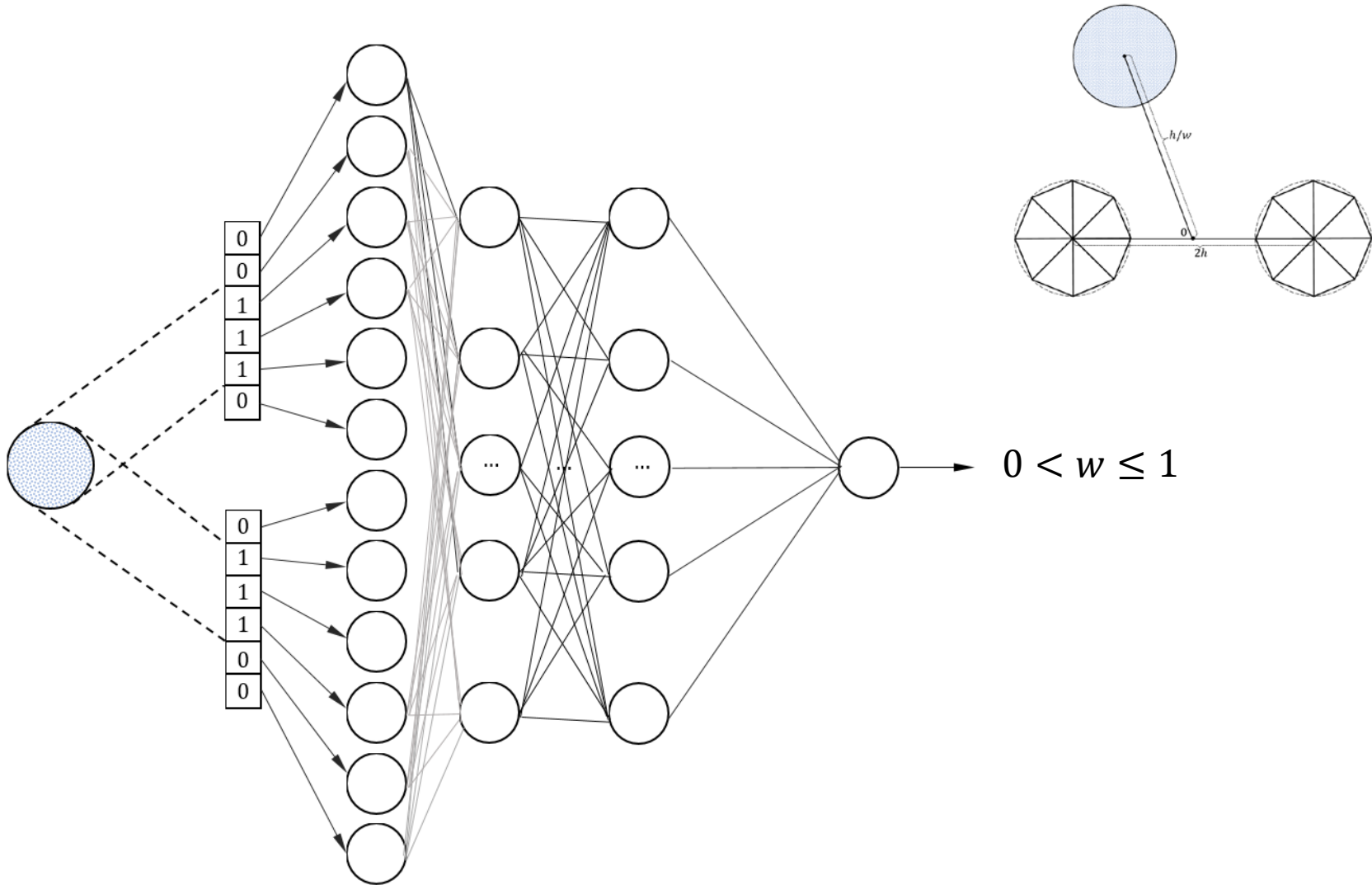
$$\left\lfloor \frac{m}{2\pi} \left(\varphi_C - \arcsin \left(\frac{g}{r_C} \right) \right) \right\rfloor \leq k \leq \left\lfloor \frac{m}{2\pi} \left(\varphi_C + \arcsin \left(\frac{g}{r_C} \right) \right) \right\rfloor$$

m — количество омматидиев фасеточного глаза

Нейронная сеть 1



Нейронная сеть 2



Обучающая выборка

$Input = (\beta_A, \beta_B)$

вектор входных сигналов
нейронной сети

$Right_output = (r, \varphi)$

истинные значения азимута
и расстояния до центра наблюдаемого круга

$\langle Input, Right_output \rangle$

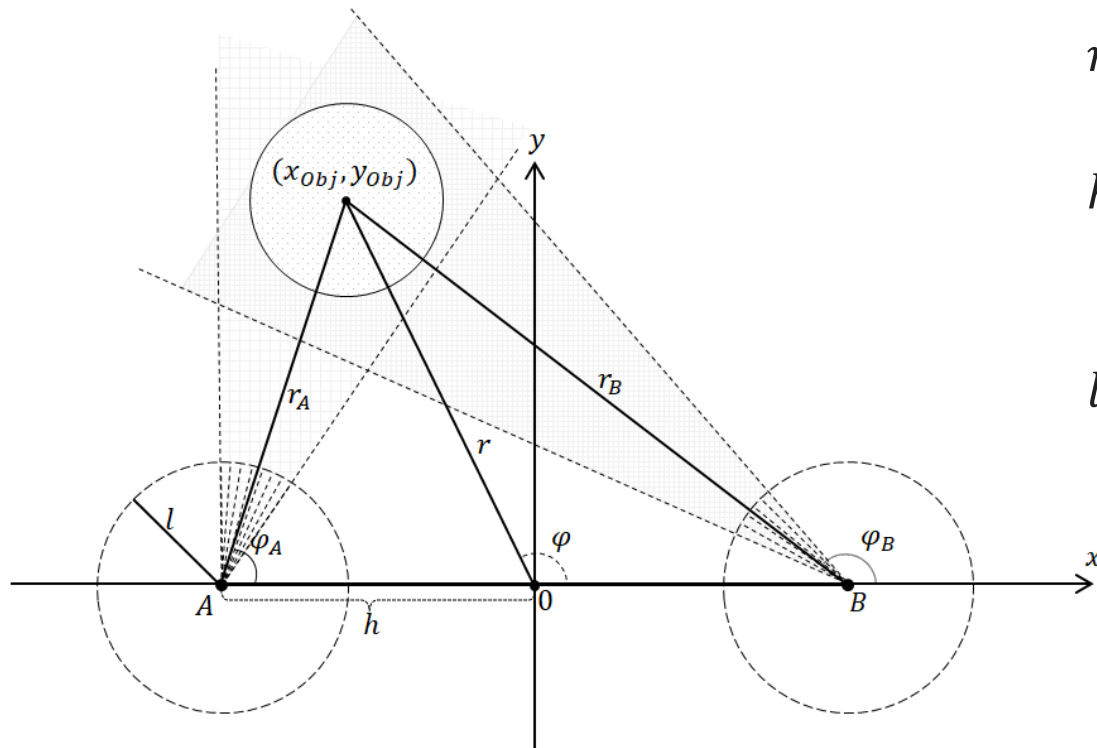
прецедент обучающей выборки

β – битовый вектор, состоящий из нулей и единиц:

«0» – никакая часть объекта не попадает в область видимости
соответствующего омматидия

«1» – часть объекта попадает в область видимости соответствующего
омматидия

Алгоритм генерации обучающей выборки



m – количество омматидиев в каждом глазу

h – половина расстояния между фасеточными глазами

l – радиус фасеточного глаза

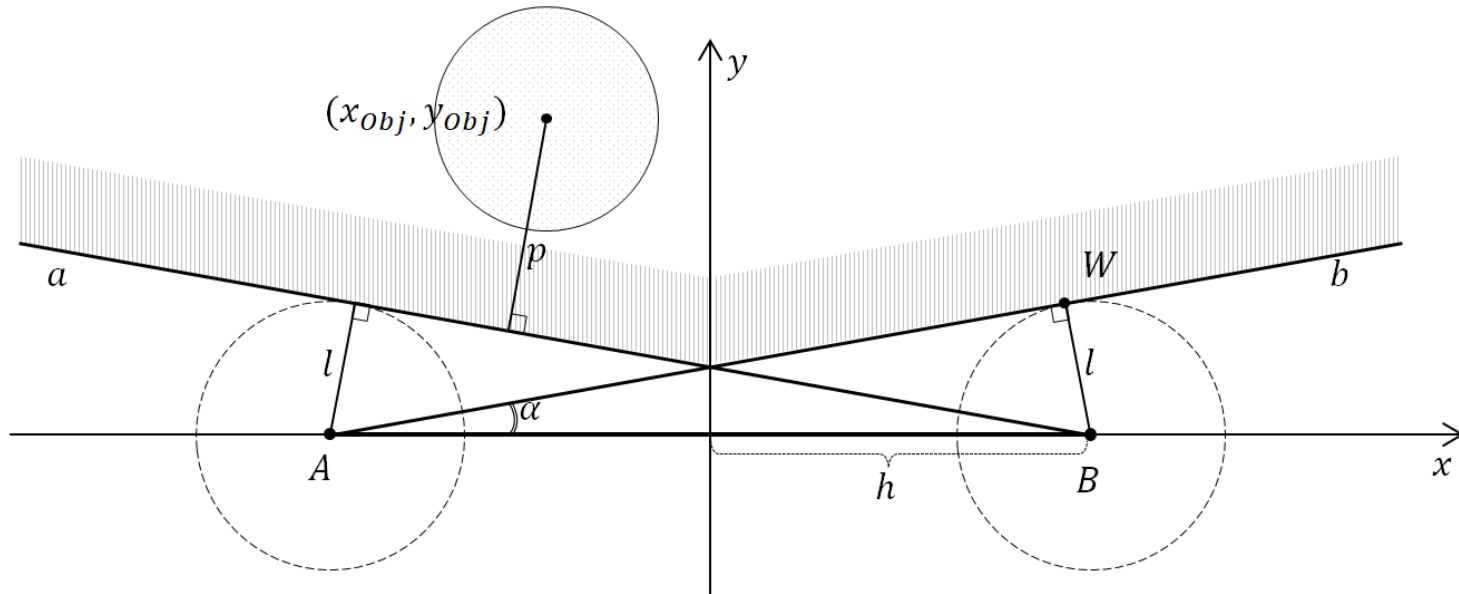
n – количество генерируемых образцов

g_{min}, g_{max} – минимальный и максимальный радиусы наблюдаемого круга

r_{min}, r_{max} – минимальное и максимальное расстояния от центра системы фасеточного зрения до центра наблюдаемого круга

$\varphi_{min}, \varphi_{max}$ – минимальный и максимальный азимуты наблюдаемого круга

Допустимые круги



- круг видим каждым глазом полностью (не перекрывается другим глазом)
- круг не пересекается с областью обоих глаз
- никакая часть наблюдаемого круга не попадает в отрицательную область оси ординат
- круг видим для обоих глаз (количество омматидиев, в область видимости которых попадает образец, для каждого глаза больше единицы)

Утверждение о допустимом круге

Круг S с центром в точке (x_{Obj}, y_{Obj}) и радиусом g_{Obj} является допустимым тогда и только тогда, когда точка (x_{Obj}, y_{Obj}) удовлетворяет следующей системе неравенств:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sqrt{4h^2 - l^2} y_{Obj} + lx_{Obj} > lh \\ \sqrt{4h^2 - l^2} y_{Obj} - lx_{Obj} > lh \\ \left| -lx_{Obj} - \sqrt{4h^2 - l^2} y_{Obj} + lh \right| > 2hg_{Obj} \\ \left| lx_{Obj} - \sqrt{4h^2 - l^2} y_{Obj} + lh \right| > 2hg_{Obj} \end{array} \right.$$

h – половина расстояния между фасеточными глазами

l – радиус фасеточного глаза

Алгоритм генерации обучающей выборки

1. Генерация случайных значений, определяющих экземпляр обучающей выборки (*Right_output*)
 $r \in [r_{min}, r_{max}], \varphi \in [\varphi_{min}, \varphi_{max}], g \in [g_{min}, g_{max}]$
2. Переход от полярных координат к декартовым (x_{Obj}, y_{Obj})
3. Проверка допустимости по утверждению о допустимости экземпляра обучающей выборки
4. Определение (r_A, φ_A) (r_B, φ_B)
5. Определение номеров омматидиев для левого и правого глаз, в область которых попадает объект по утверждению об омматидиях, видящих окружность
6. Генерация битовых шкал β_A, β_B для каждого глаза (*Input*)

Планы дальнейшей работы

- Создание нейронной сети для определения азимута целевого объекта
- Создание нейронной сети для определения расстояния до целевого объекта

Спасибо за внимание!
