

Квантовая ИТ- инженерия в задачах интеллектуального управления физическими системами: физические и информационные ограничения

Ульянов Сергей Викторович

ЛИТ им. М.Г. Мещерякова ОИЯИ

**ГРИД 2023
Дубна, 6 Июля 2023**

氏名 Sergei Victorovich Ulyanov
生年月日 1946年12月15日
国籍 ロシア

Prof. Sergey V. Ulyanov:

略歴

経歴

[1972] Ph.D

“Statistical analysis of seismic excitation on dynamical systems
with random time-dependent parameters”

[1991] State Dr. of Physics and Mathematical Sciences (IFTP) “Physical models of control
objects and robust intelligent control – relativistic, quantum and thermodynamics - information
aspects”

- | | |
|-----------|--|
| 1965 | Moscow State Technical University (Bauman Technical College) |
| 1971 | (自動制御システム) 入学 同上 卒業 (кафедра П -1: Системы управления) |
| 1965 ~ 75 | Research Engineer and Senior Manager
Central Institute of Building Construction, Ministry of Building Construction |
| 1975 ~ 83 | Chief of Laboratory
Central Institute of Biomedical Engineering, Ministry of Biomedical Engineering |
| 1983 ~ 92 | Professor, Chief of Department of Quantum and Relativistic Control Systems
Institute of Physical -Technical Problems, Soviet Academy of Sciences |
| 1992 ~ 94 | Professor, Chief of Artificial Intelligence Robotic Laboratory
Institute for Problems in Mechanics, Russian Academy of Science |

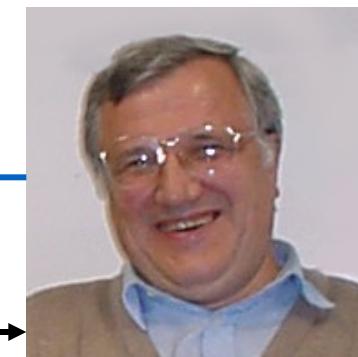
- | | |
|-------------|--------------------------------------|
| 1994 ~ 97 | 教授
電気通信大学 機械制御工学科 |
| 1997 ~ 2007 | ヤマハ発動機(株) 研究開発センター |
| 1999 ~ 2007 | 同社 YMENV R&D Office in Crema (Italy) |

International
Activity

«Russian Storm»

Large ship – Large Hole

Professional Activity

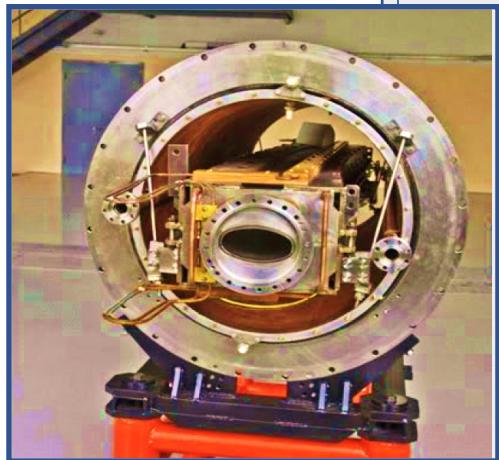




Новый принцип:

- Эффективное применение квантовых ИТ в классических объектах управления
- Платформа сквозных квантовых ИТ

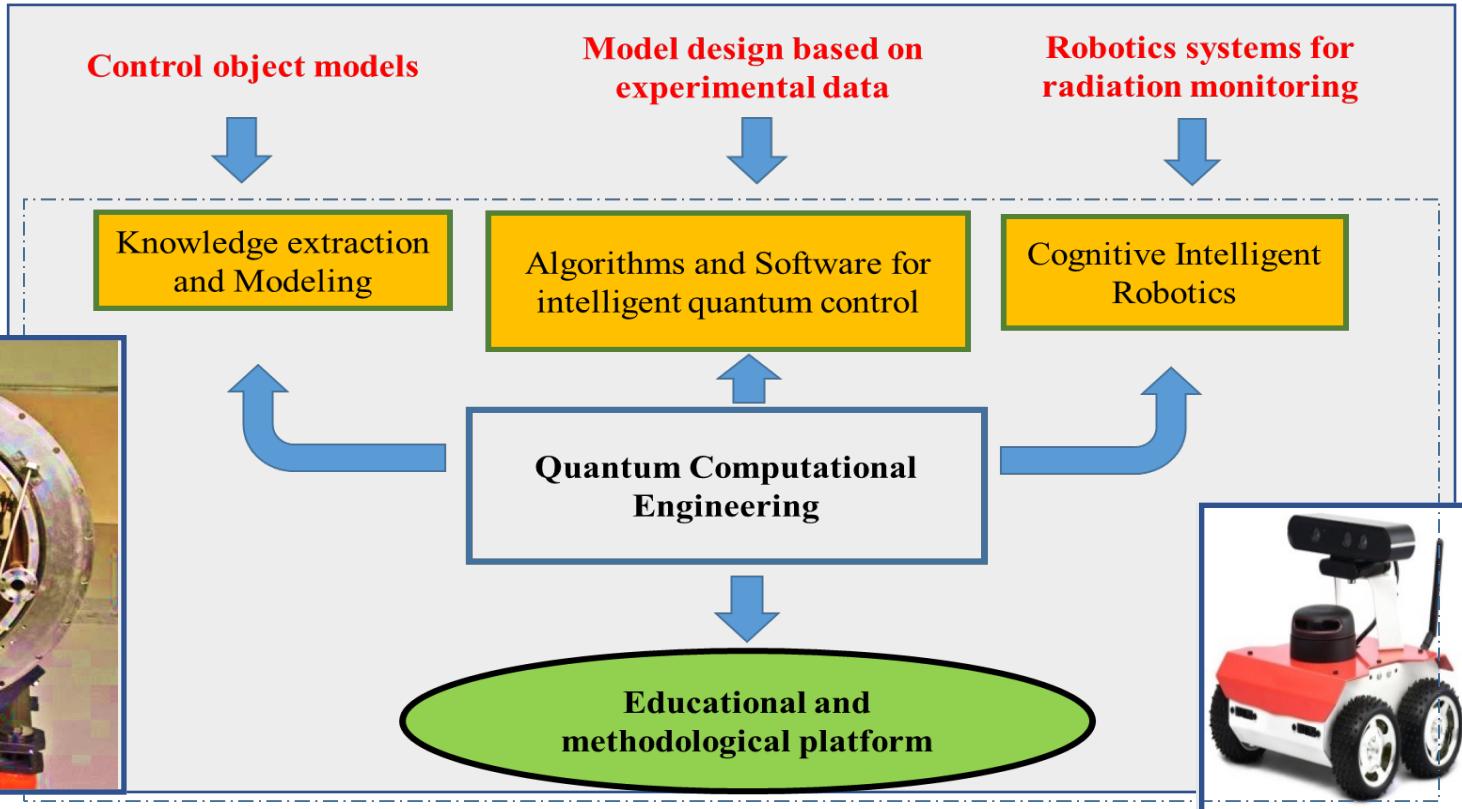
Part I: Quantum control design platform



GOAL: Intelligent control of JINR physical experimental facilities control in unforeseen and unpredictable situations

USE&DO: Modern software technologies design of embedded intelligent controllers

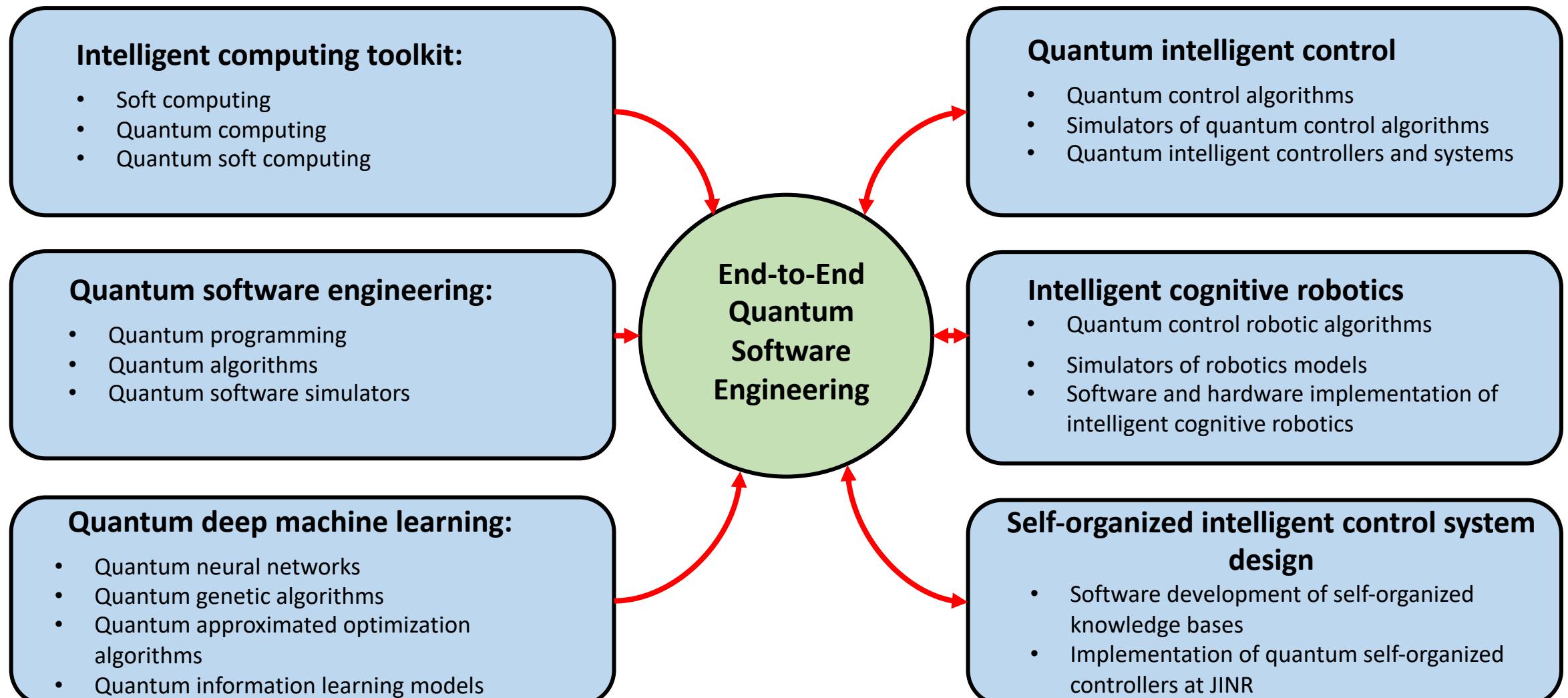
PRODUCE: Communication of knowledge in robotics complexes



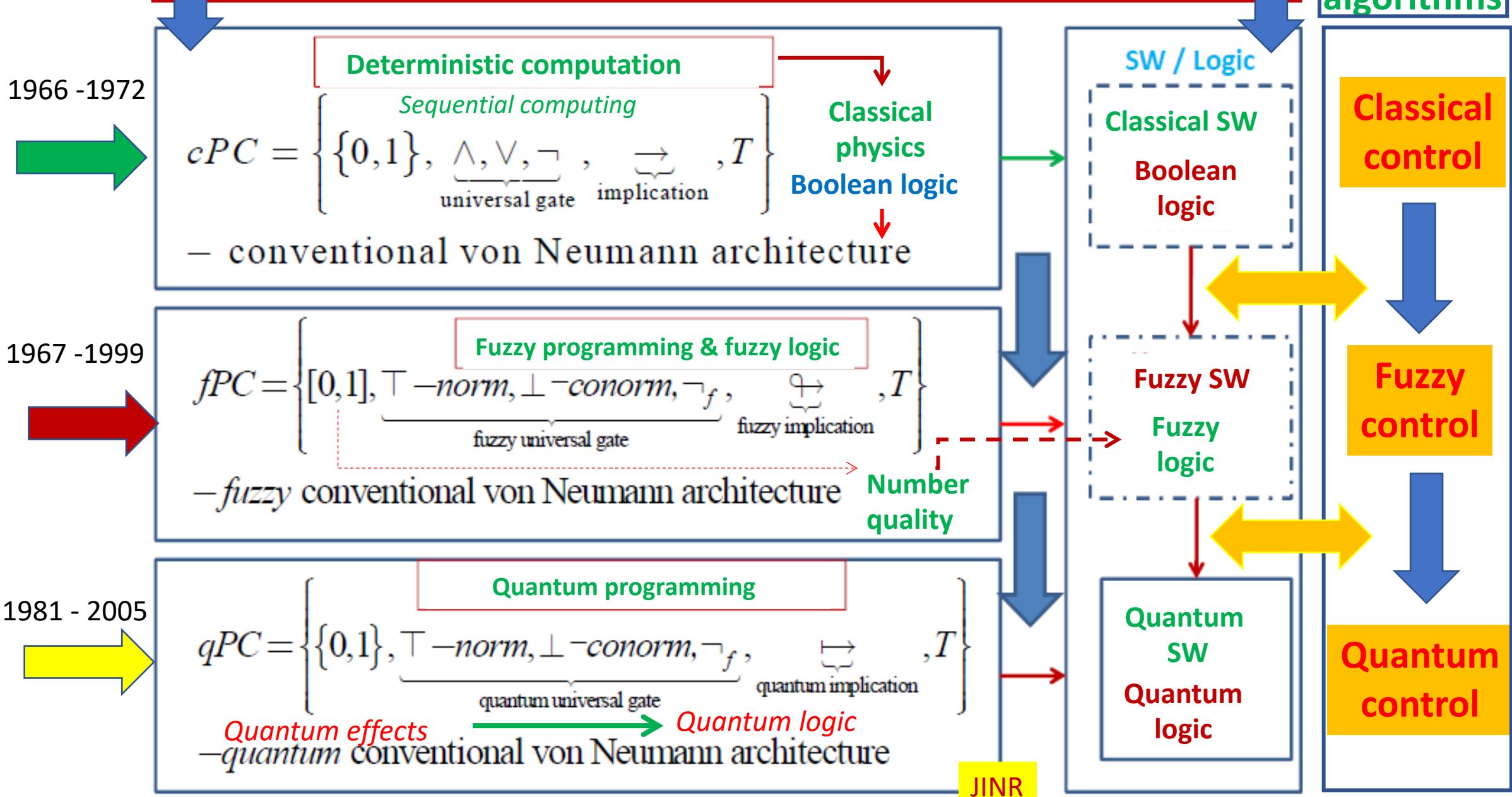
Expected results:

- Quantum control systems for NICA complex.
- Applied library of quantum algorithms for JINR projects.
- Quantum algorithms simulation on classical computers for the specific JINR tasks.
- Intelligent cognitive quantum robust controllers for intelligent control systems.
- Intelligent cognitive swarm autonomous robots design.

New direction: End-to-end quantum intelligent computing



Evolution of HW computer science development and SW implementation



Common functions

→ Superposition building blocks

→ Interference operators

Diffusion

QFT

→ Bra-Ket functions

→ Measurement operators

→ Entropy calculations

→ Visualization functions

State visualizations

Operator visualizations

Algorithm – specific functions

→ Entanglement encoders

→ Problem transformers

→ Result interpreters

→ Algorithm execution scripts

Matlab slide show

Deutsch

Matlab console program

Deutsch

Deutsch - Jozsa

Grover

Shor

Library of quantum operators

Quantum control algorithms

Applications of

Quantum software Engineering

Simulator of quantum algorithms

Computational intelligence toolkit

Design of quantum algorithms

Benchmarks of QA

Intellectual Property on structures and KB self-organization of intelligent control systems

Самоорганизация интеллектуального управления: Объект интеллектуальной собственности

Основа внит проектирования робастных ИСУ





US 20060218108A1

(19) United States

(12) Patent Application Publication
Panfilov et al.(10) Pub. No.: US 2006/0218108 A1
(43) Pub. Date: Sep. 28, 2006

(54) SYSTEM FOR SOFT COMPUTING SIMULATION

Publication Classification

(76) Inventors: Sergey Panfilov, Crema (IT); Sergei Ulyanov, Crema (IT)

(51) Int. Cl.
G06N 3/12 (2006.01)
(52) U.S. Cl. 706/13

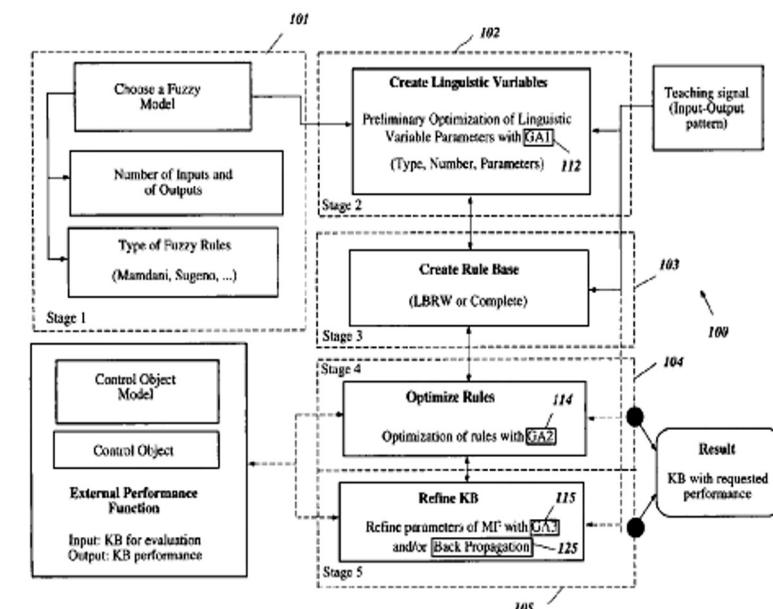
Correspondence Address:
KNOBBE MARTENS OLSON & BEAR LLP
2040 MAIN STREET
FOURTEENTH FLOOR
IRVINE, CA 92614 (US)

(21) Appl. No.: 11/243,511

(22) Filed: Oct. 4, 2005

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 60/664,898, filed on Mar. 24, 2005.



US 007219087B2

(12) United States Patent
Panfilov et al.(10) Patent No.: US 7,219,087 B2
(45) Date of Patent: *May 15, 2007

(54) SOFT COMPUTING OPTIMIZER OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEM STRUCTURES

(56) References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

- | | |
|--|--|
| (75) Inventors: Sergey A. Panfilov, Crema (IT); Ludmilla Litvinseva, Crema (IT); Sergey V. Ulyanov, Crema (IT); Viktor S. Ulyanov, Moscow (RU); Kazuki Takahashi, Crema (IT) | 5,111,531 A 5/1992 Grayson et al. |
| | 5,142,877 A 9/1992 Shimizu |
| | 5,159,660 A 10/1992 Lu et al. |
| | 5,204,718 A 4/1993 Morita |
| | 5,208,749 A 5/1993 Adachi et al. |
| | 5,214,576 A 5/1993 Tan et al. |
| | 5,263,123 A * 11/1993 Hayashi 706/45 |
| | 5,268,835 A 12/1993 Miyagaki et al. |
| | 5,285,377 A 2/1994 Sugasaki et al. |
| | 5,305,230 A 4/1994 Matsumoto et al. |
| | 5,324,069 A 6/1994 Ogawa |
| | 5,349,646 A * 9/1994 Furuta et al. 706/23 |
| | 5,361,628 A 11/1994 Marko et al. |
| | 5,367,612 A 11/1994 Bozich et al. |
| | 5,372,015 A 12/1994 Suzuki et al. |
| | 5,434,951 A 7/1995 Kuwata |
| | 5,471,381 A 11/1995 Khan |
| | 5,483,450 A 1/1996 Taiti et al. |
| | 5,488,562 A 1/1996 Otterbein et al. |
| | 5,539,638 A 7/1996 Keeler et al. |
| | 5,557,520 A 9/1996 Suissa et al. |
| | 5,740,323 A * 4/1998 Normura et al. 706/13 |
| | 5,815,198 A 9/1998 Vachtsevanos et al. |
| | 5,877,954 A 3/1999 Klimasauskas et al. |
| | 5,912,821 A 6/1999 Kobayashi |
| | 5,928,297 A 7/1999 Murata et al. |
| | 5,943,660 A 8/1999 Yesildirek et al. |
| | 5,971,579 A 10/1999 Kim |
| | 6,021,369 A 2/2000 Kamihira et al. |
| | 6,064,996 A 5/2000 Yamaguchi et al. |
| | 6,188,988 B1 * 2/2001 Barry et al. 705/3 |
| | 6,411,944 B1 * 6/2002 Ulyanov 706/13 |
| | 6,463,371 B1 * 10/2002 Ulyanov et al. 701/40 |
| | 6,490,237 B1 * 12/2002 Supino 369/59.1 |
| | 6,496,761 B1 * 12/2002 Ulyanov et al. 701/37 |
| | 6,701,236 B2 * 3/2004 Ulyanov et al. 701/40 |
| | 6,711,556 B1 * 3/2004 Sepe et al. 706/6 |
| | 6,721,718 B2 * 4/2004 Ulyanov 706/2 |
| | 6,735,576 B1 * 5/2004 Kaji et al. 706/1 |
| | 6,829,604 B1 * 12/2004 Taiti 707/5 |
| | 2002-0016665 A1 * 2/2002 Ulyanov et al. 701/106 |
| | 2002-0099673 A1 * 7/2002 Pappalardo et al. 706/1 |
| | 2003-0078899 A1 * 4/2003 Shanahan 706/8 |
- This patent is subject to a terminal disclaimer.
- (*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 299 days.

(21) Appl. No.: 10/897,978

(22) Filed: Jul. 23, 2004

(65) Prior Publication Data

US 2005/0119986 A1 Jun. 2, 2005

(60) Related U.S. Application Data
Provisional application No. 60/490,397, filed on Jul. 25, 2003.

(51) Int. Cl.

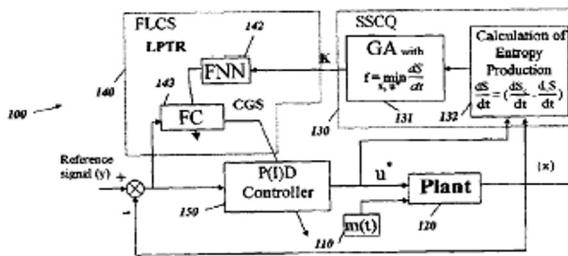
G05B 13/00 (2006.01)*G05B 13/04* (2006.01)*G05B 15/00* (2006.01)*G05B 17/00* (2006.01)

- 5,188,988 B1 * 2/2001 Barry et al. 705/3
 6,411,944 B1 * 6/2002 Ulyanov 706/13
 6,463,371 B1 * 10/2002 Ulyanov et al. 701/40
 6,490,237 B1 * 12/2002 Supino 369/59.1
 6,496,761 B1 * 12/2002 Ulyanov et al. 701/37
 6,701,236 B2 * 3/2004 Ulyanov et al. 701/40
 6,711,556 B1 * 3/2004 Sepe et al. 706/6
 6,721,718 B2 * 4/2004 Ulyanov 706/2
 6,735,576 B1 * 5/2004 Kaji et al. 706/1
 6,829,604 B1 * 12/2004 Taiti 707/5

(58) Field of Classification Search

706/59, 706/8, 50, 1, 23, 19; 700/28, 50

See application file for complete search history.





US 20130096698A1

(19) United States

(12) Patent Application Publication
Ulyanov(10) Pub. No.: US 2013/0096698 A1
(43) Pub. Date: Apr. 18, 2013

(54) SELF-ORGANIZING QUANTUM ROBUST CONTROL METHODS AND SYSTEMS FOR SITUATIONS WITH UNCERTAINTY AND RISK

(75) Inventor: Sergey V. Ulyanov, Moscow (RU)

(73) Assignee: PronetLabs Ltd., Moscow (RU)

(21) Appl. No.: 13/273,783

(22) Filed: Oct. 14, 2011

Publication Classification

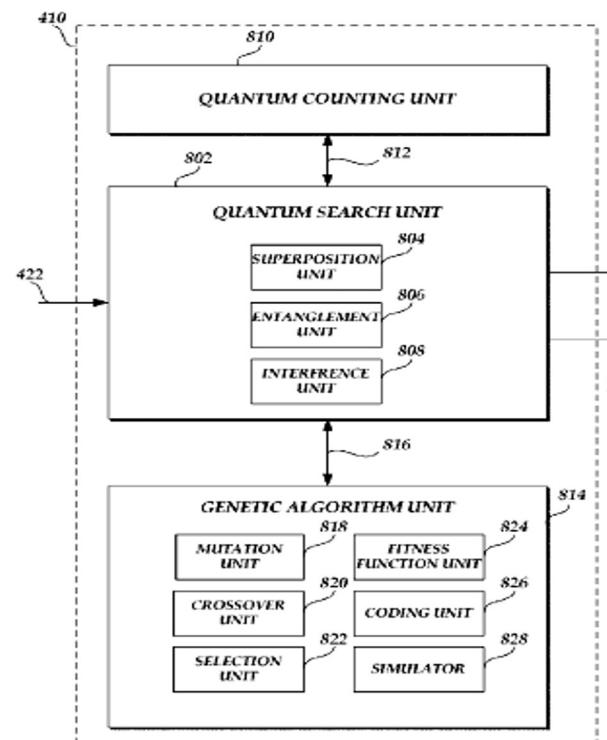
(51) Int. Cl.
G05B 13/04

(2006.01)

(52) U.S. CL
USPC 700/30

(57) ABSTRACT

Control systems, apparatus, and methods can apply quantum algorithms to control a control object in the presence of uncertainty and/or information risk. A self-organizing controller can include a quantum inference unit that can generate a set of robust control gains for a controller that can meet the control objectives for the particular realization of the control object. In one embodiment, the quantum inference unit can include a quantum correlator configured to generate a plurality of quantum states based on a plurality of controller parameters and a correlation type. In this embodiment, the quantum inference unit can also include a quantum optimizer configured to select the correlation type of the quantum correlator and to select a quantum state from the plurality of the quantum states. The self-organizing controller can control the control object with one or more controller gains that are based on the selected quantum state.



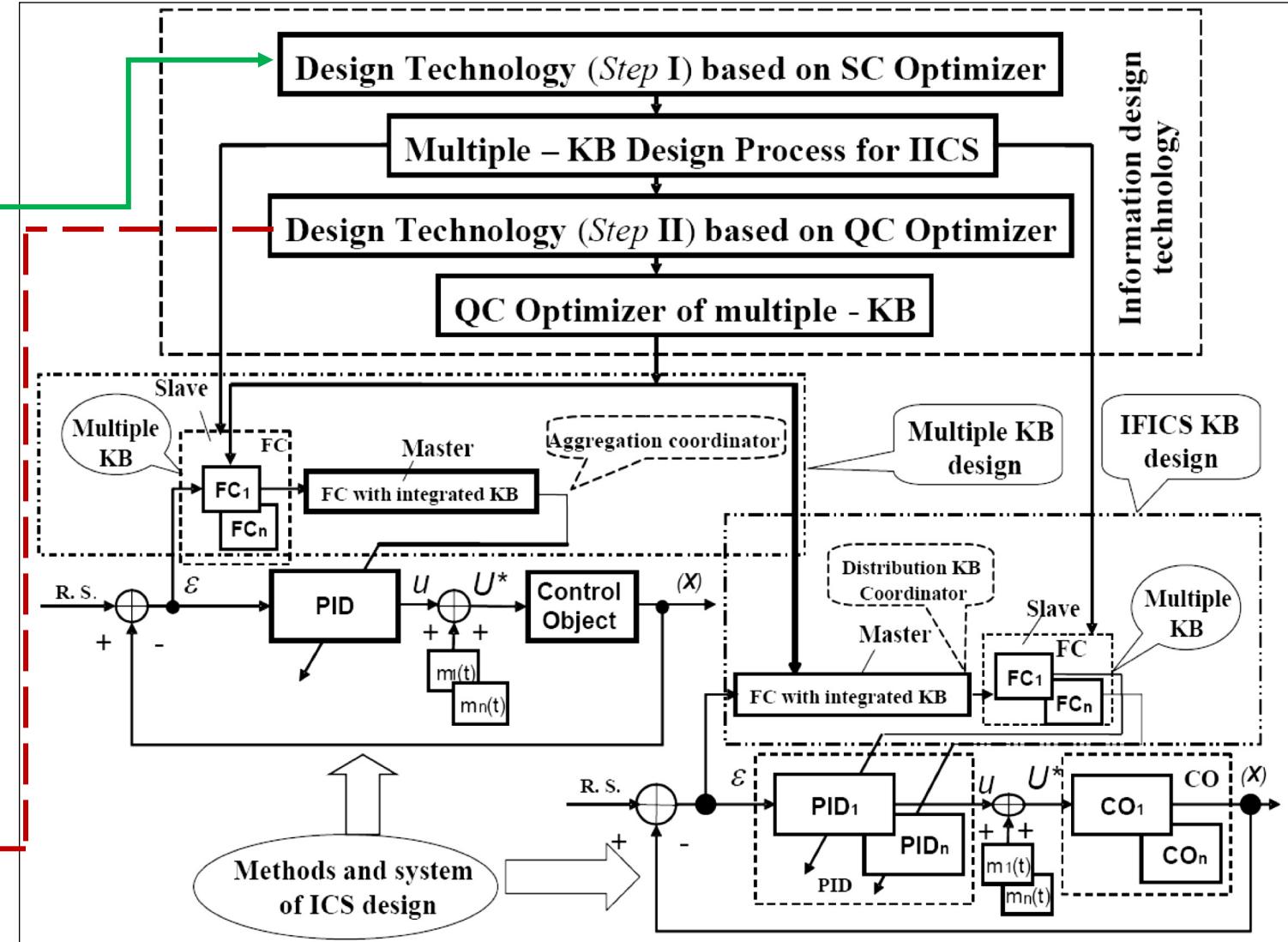
Сквозные квантовые ИТ в самоорганизующихся ИСУ (межлабораторные проекты ОИЯИ)

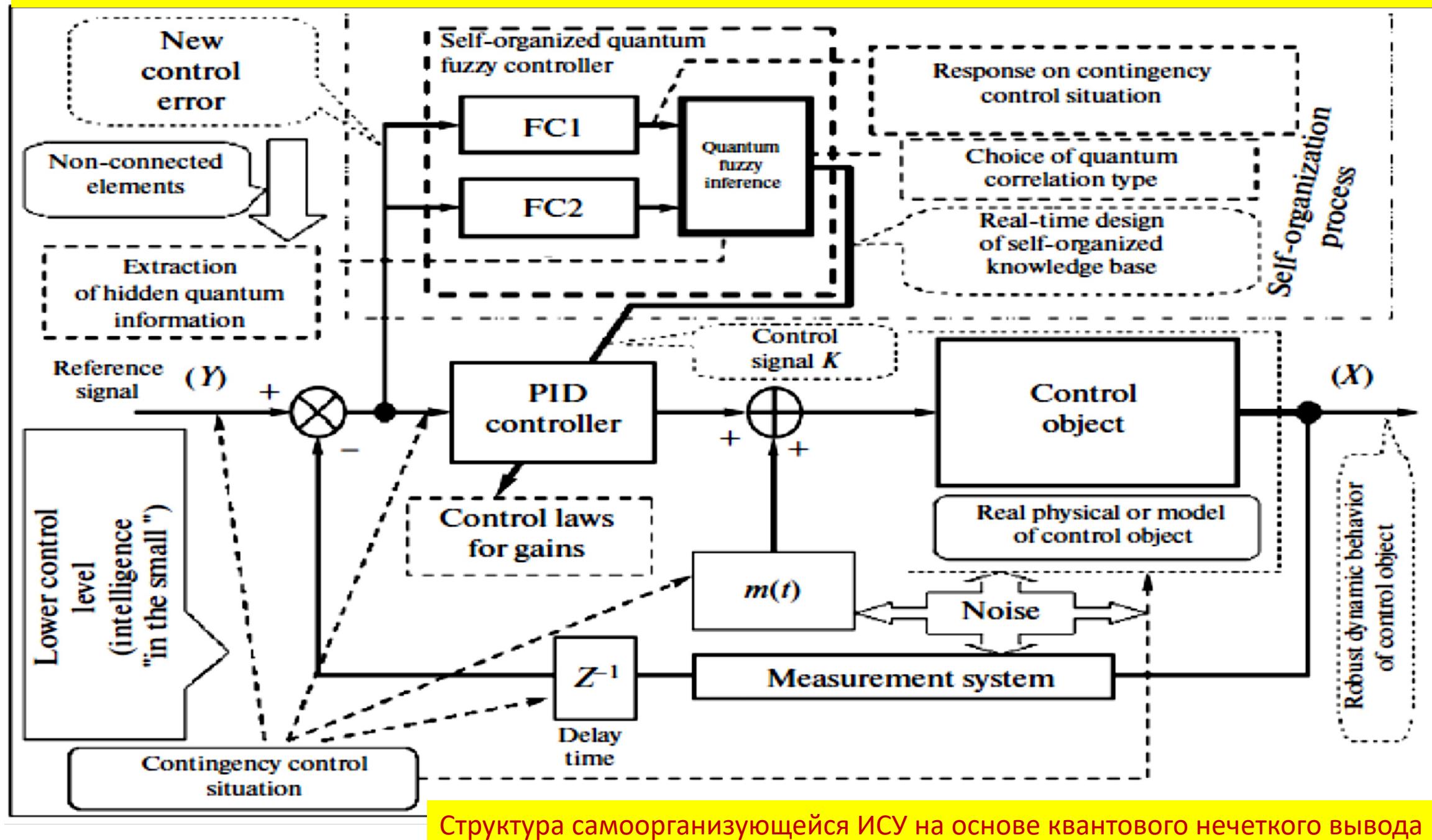
• Решаемые задачи

- Управление движением объекта управления робота с манипулятором
- Точность подсистемы технического зрения
- Точность координации манипулятора
- Координация всех подсистем
- Корректирующие правила с учетом приращения информационного риска

• Этапы работ:

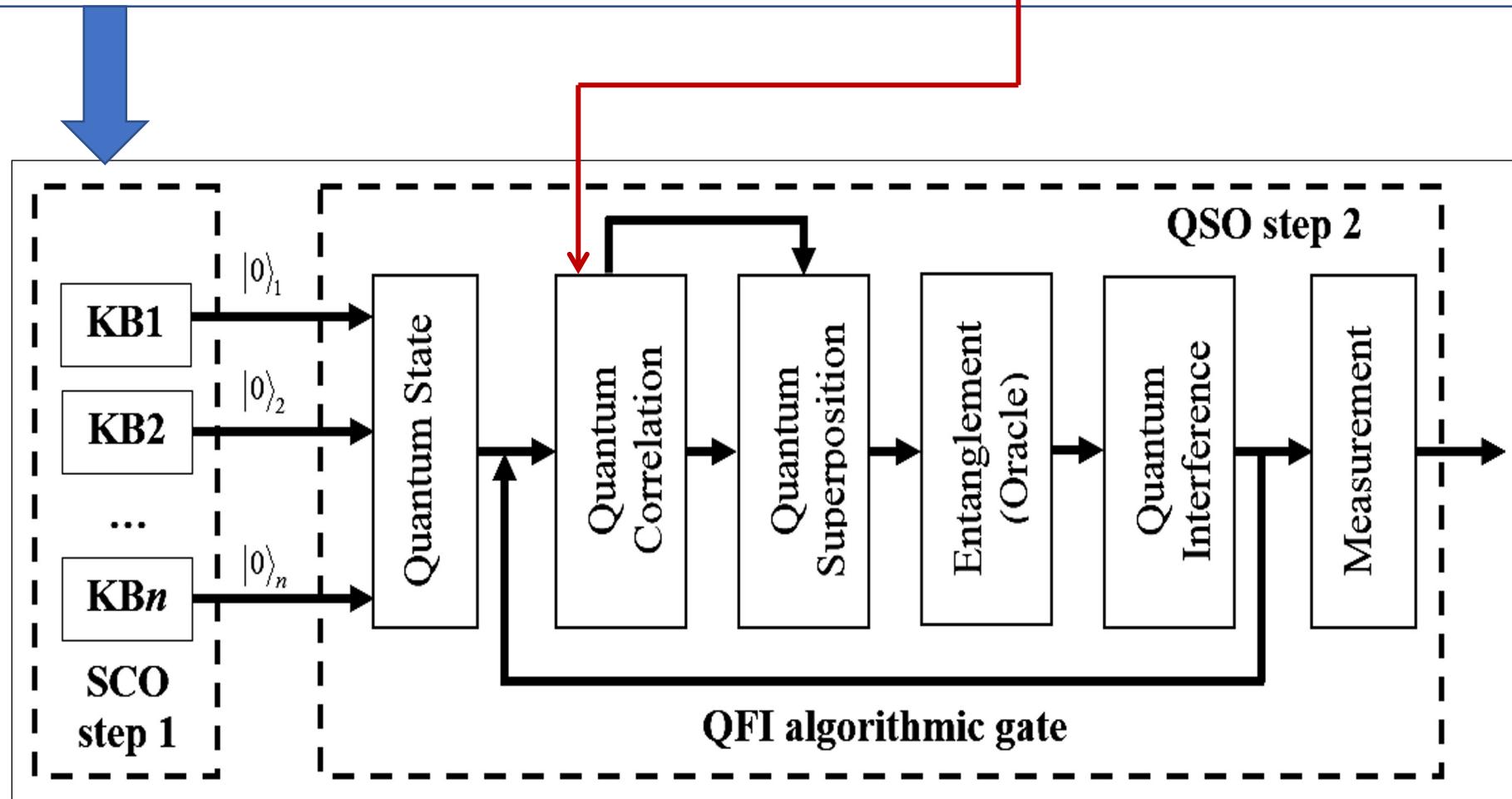
- Первый этап – спроектировать нейросетевые контроллеры для эффективного управления параметрами регулятора в ситуациях обучения (*слабый ИИ*).
- Второй этап – спроектировать квантовый контроллер с повышенным уровнем надежности в непредвиденных ситуациях управления (*квантовый сильный вычислительный интеллект*)



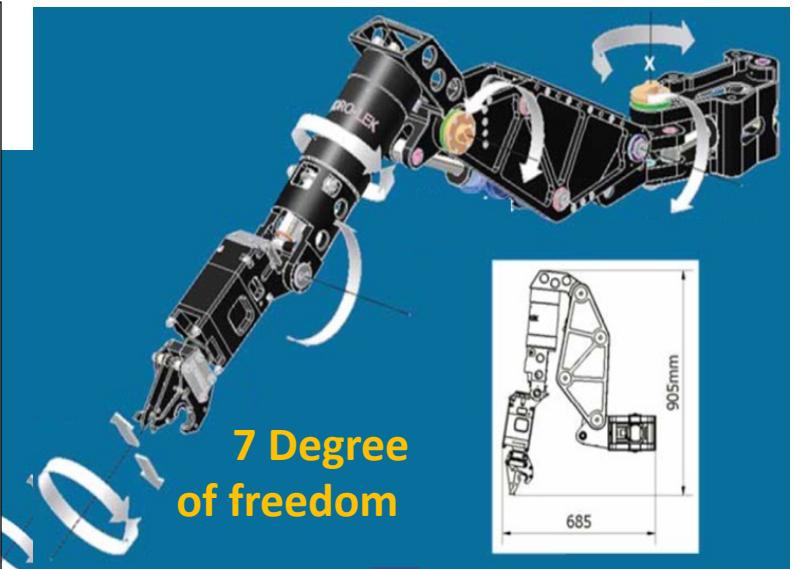
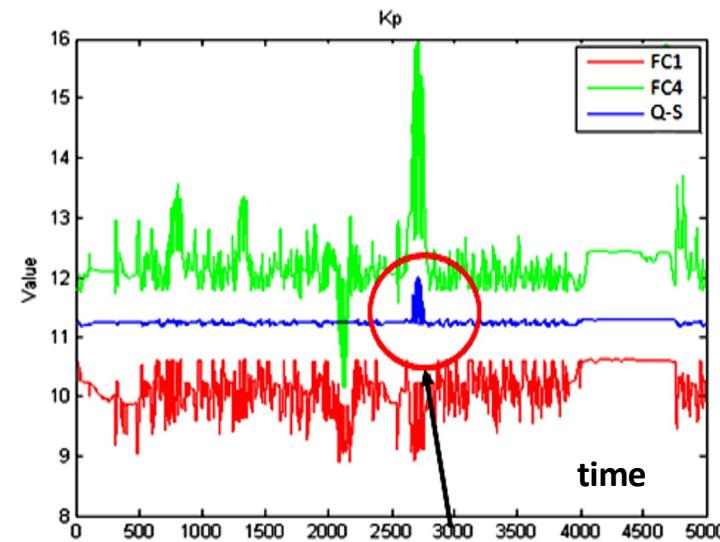
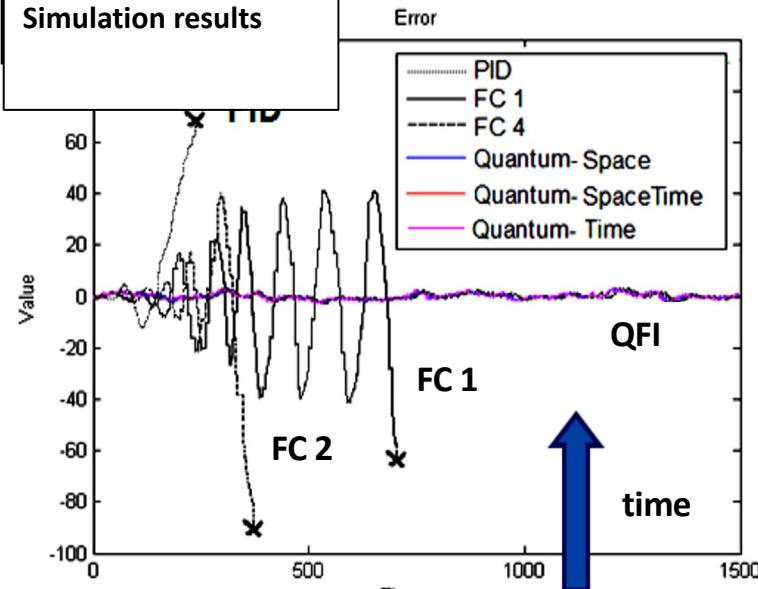


Quantum genetic algorithm

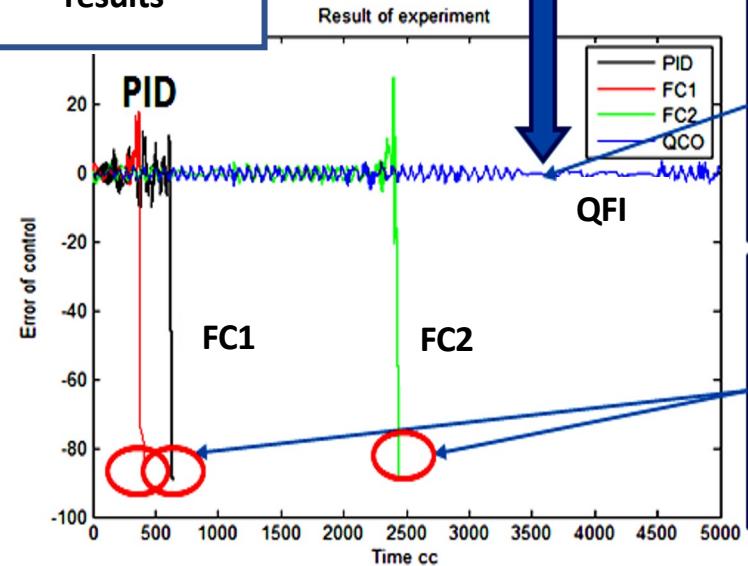
$$QAG = \left[\left(Int \otimes {}^n I \right) \cdot U_F \right]^{h+1} \cdot [QGA] \left[{}^n H \otimes {}^m S \right]$$



Simulation results



Experimental results



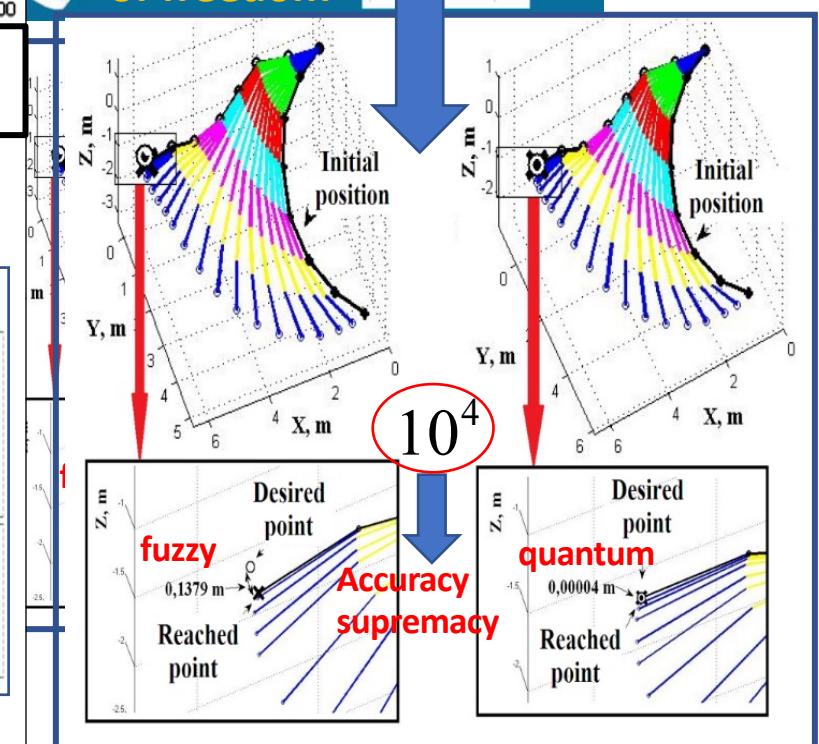
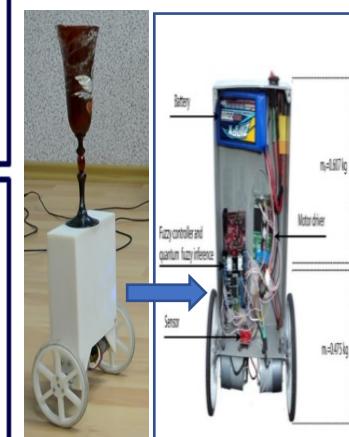
Synergetic effect of KB self-organization

Control goal achievement in unpredicted situation on QFI

Unpredicted control situation FC don't guarantee the achievement of control goal

QFI response on unpredicted control situation

**Control object:
Two unstable CO**



Physical features of the control object and the physical process

Features of an autonomous object

- Non-standard heat intakes
- Eddy currents in the core (heat the core)
- The dependence of the quality of the magnetic field on the quality of cooling
- Flashing of the wall and uneven cooling in the connecting nodes

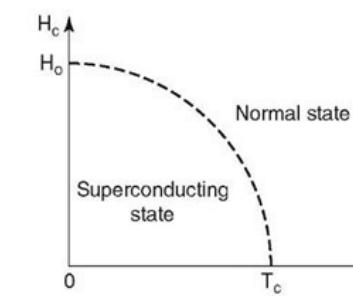


Features of the group of magnetic elements

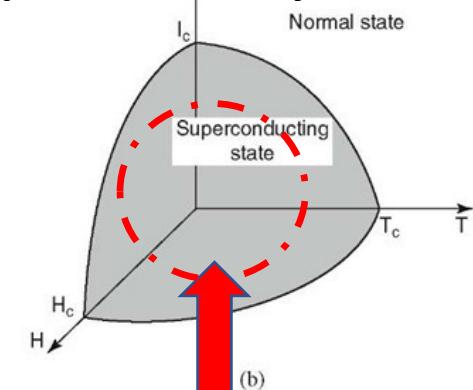
- Different eddy currents in the core
- Minor differences in magnets elements

The control task is to maintain the state of superconductivity

The state of superconductivity



(a)



(b)

The point of equilibrium in space and the permissible range of changes in current, temperature, and magnetic field

The principle of intelligent control: Compensation of the indeterminate and inaccurate parameters of the magnetic element existing in a real object through the use of soft and quantum computing technologies

Физические и информационно-термодинамические ограничения в моделях квантовых ИТ

Квантовые и релятивистские ограничения на управление физическим экспериментом: корректность моделей физического объекта

1. Роль учета квантовых эффектов в построении корректной модели физического процесса (Холево А.С., 1972г.)

○ *Корректность идентификации моделей ОУ.* В общей теории динамических систем в ряде случаев оптимальные статистические процедуры для Гауссовых случайных полей оказываются, как правило, линейными. Для стационарных полей линейные статистические задачи приводят к исследованию уравнений Фредгольма 1-го рода типа

$$y(t) = \int_0^t k(t-s)x(s)ds, \quad t \in [0, T], \quad [x, y] = 0,$$

и являются (для идентификации ОУ или его входного сигнала $[x(t), k(t)]$) некорректными задачами по Тихонову. Учет квантовой природы описываемых полей (например, бозонных) приводит к рассмотрению интегрального уравнения Фредгольма 2-го рода типа [25]:

$$y(t) = \left[\frac{\hbar}{2} x(t) \right] + \int_0^t k(t-s)x(s)ds, \quad t \in [0, T], \quad [x, y] = i\hbar,$$

где \hbar - постоянная Планка. Таким образом, учет квантовой природы физического поля (квантовые ограничения в виде некоммутативности наблюдаемых) приводит к естественной регуляризации некорректных задач, исследуемых в теории управления традиционными ОУ.

2. Квантовые ограничения на пропускную способность канала передачи информации (Стратонович Р.Л., 1966г.)

- *Квантовые ограничения на пропускную способность канала передачи информации.*

В классической теории информации К. Шенноном получено выражение пропускной способности канала связи с соотношением P/N (сигнал/шум) и полосой пропускания

$W = \frac{\omega}{2\pi}$ следующего вида: $C = W \ln \left(1 + \frac{P}{N} \right)$. Из данного выражения следует, что при

$N \rightarrow 0$ величина $C \rightarrow \infty$, что физически нереализуемо. Для квантового канала передачи информации с учетом квантовых флуктуаций для пропускной способности C имеем следующее выражение [26]:

$$C = W \ln \left(1 + \frac{P}{N + N_0} \right),$$

где N_0 - интенсивность квантового шума.

Таким образом, при $N \rightarrow 0$, $\lim_{T \rightarrow 0} C = W \ln \left(1 + \frac{P}{N_0} \right)$, т.е., является величиной ограниченной.

Рассмотрим теперь особенности влияния релятивистских ограничений на выбор модели ОУ.

¹ Kamath S.G., Sreedhar V.V. Classical radiation from relativistic charge accelerated along a brachistochrone // Phys. Review A. – 1987. – Vol. 36. – № 5. – pp. 2478-2481.



○ Релятивистские ограничения и корректность модели ОУ. Выбор физического базиса проведения эксперимента и определение математического способа (задания критерия корректного описания) модели ОУ существенно влияют на качество интерпретации результата процесса обработки экспериментальных данных и извлечения объективных знаний из динамического поведения самого ОУ.

Пример: Движение заряженной частицы вдоль релятивистского брахистохрона с учетом излучения мощности в заданном электрическом поле. Мощность $P(t)$ излучаемой энергии заряженной частицы (например, в синхротроне) пропорциональна множителю $\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{-2}$, т.е., при $v \rightarrow c$ (скоростях движения, близких к скорости света) потери энергии на излучение могут быть весьма большими. В случае релятивистского брахистохрона, соответствующая величина $P(t)$ имеет вид: $P(t) = \frac{2}{3} \frac{q^2 \alpha^2}{4\pi} c \left(1 - \frac{v^2(t)}{c^2}\right) \left(1 + \frac{v^2(t)}{c^2}\right)$, что справедливо для произвольной орбиты с параметрами q и α . В случае замкнутой орбиты имеем: $P(t) = \frac{2}{3} \frac{q^2 \alpha^2}{4\pi} c \left(1 - \frac{v^2(t)}{c^2}\right)$.

Таким образом, в рассмотренном случае потеря энергии на излучение (при $v \rightarrow c$) стремятся к минимуму и решение задачи (без учета потерь на диссипативные процессы) оптимальны.

Рассмотрим и сравним аналогичные результаты для релятивистского *таутохрона*.

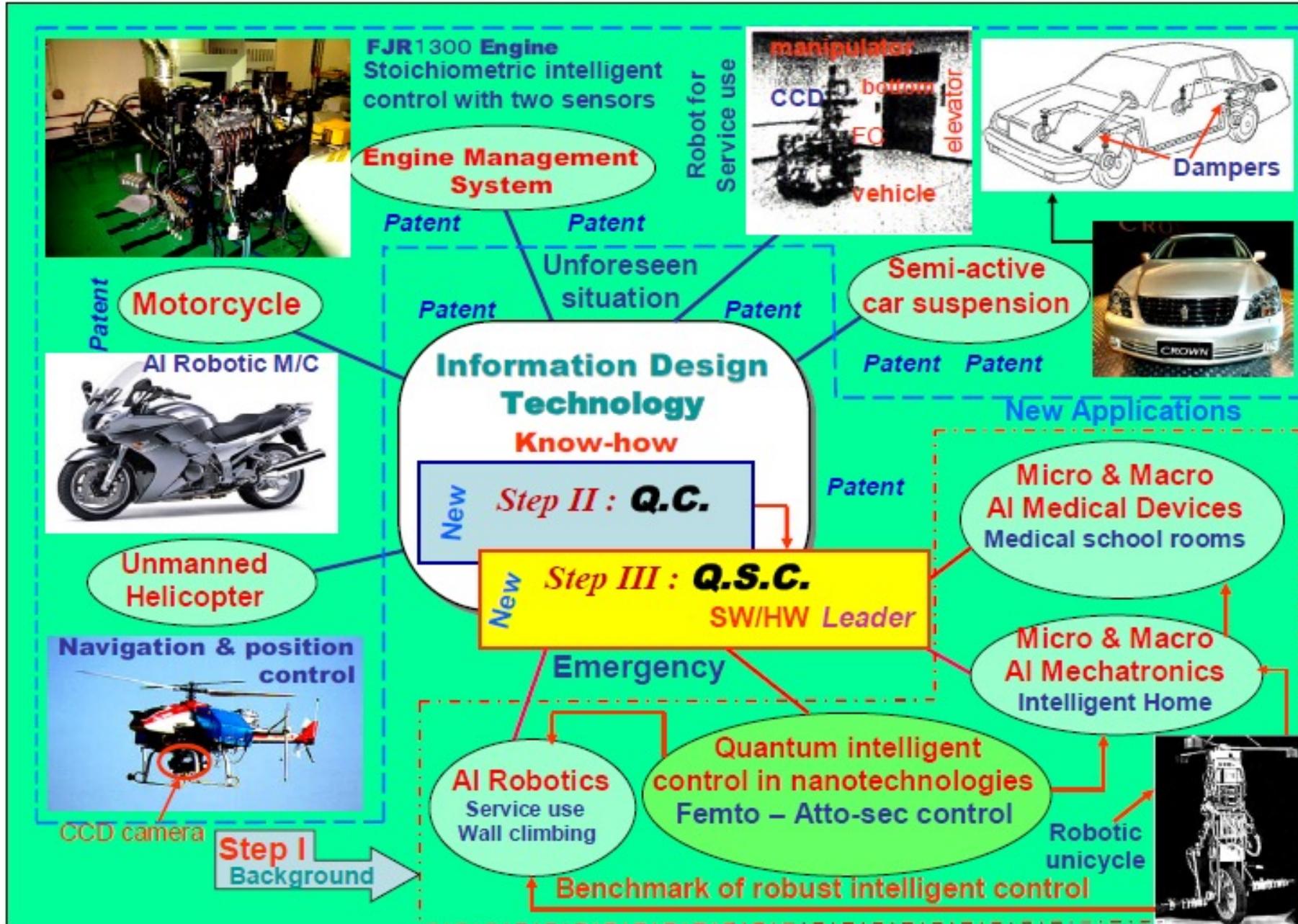
В этом случае выражение для рассеяния энергии имеет вид

$$P(t) = \frac{2}{3} \frac{q^2 \alpha^2}{4\pi c^3} \left(1 - \frac{v^2(t)}{c^2}\right)^{-3} \left[v^4 (\xi^2 + \lambda^2)^{-1} + c^4 (\eta^2 - \lambda^2) \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^3 \right],$$

где имеет место соотношение $\sqrt{(\eta^2 - \lambda^2)s} = \sqrt{(\xi^2 + \lambda^2)}$, $v = xi + yj = \dot{x}(i + sj)$.

Таким образом, результат существенно отличается от случая релятивистского брахистохрона¹.

Следовательно, более корректный учет физической особенности движения релятивистской системы также может приводить непосредственно к оптимальным решениям.



Квантовая Программная Инженерия (КИП)

Направления работ

1. Структура КПИ ЛИТ
2. Исследования и разработка программно-алгоритмической платформы (Benchmarks)
3. Межлабораторные проекты (Фабрика тяжелых металлов, фабрика сверхпроводящих магнитов, ВЧ станции, квантовое управление спиновыми состояниями пучка коллайдера, интеллектуальная когнитивная робототехника - ЛБР, квантовый сильный вычислительный интеллект для аналитики больших данных, квантовое глубокое машинное обучение на основе КГА и КНС – ЛИТ)
4. Приложения и реализация
5. Подготовка кадров для межлабораторных проектов
6. Учебно-образовательные процессы и публикации
7. Альянс сотрудничества

Квантовая программная инженерия



Заказчики в ОИЯИ



Background of Quantum Computational Intelligence

Quantum Soft Computing

Quantum Fuzzy System

Quantum Neural Network

Quantum Genetic Algorithm

Models of Applied Intelligent Toolkit

Quantum Deep Machine Learning with Applications

Big & Mining
Experimental Data

Physical Models Design
from Experimental Data

Quantum Intelligent Control

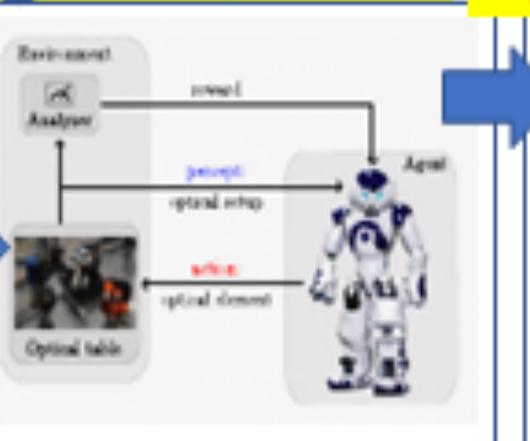
I Quantum Search

Grover Search Algorithm Simulator v0.3
Type "Grover.main()" for more help

Order? 1000
C? 10000000
Number of iterations? 100000000
Superposition: 0.000 sec
Entanglement: 24.652 sec
Interference: 0.178 sec
Total time: 24.730 sec
Grover YES

In less than 2 minutes

II Experiment Design



III NICA mega-science
project, JINR, Dubna

Applications

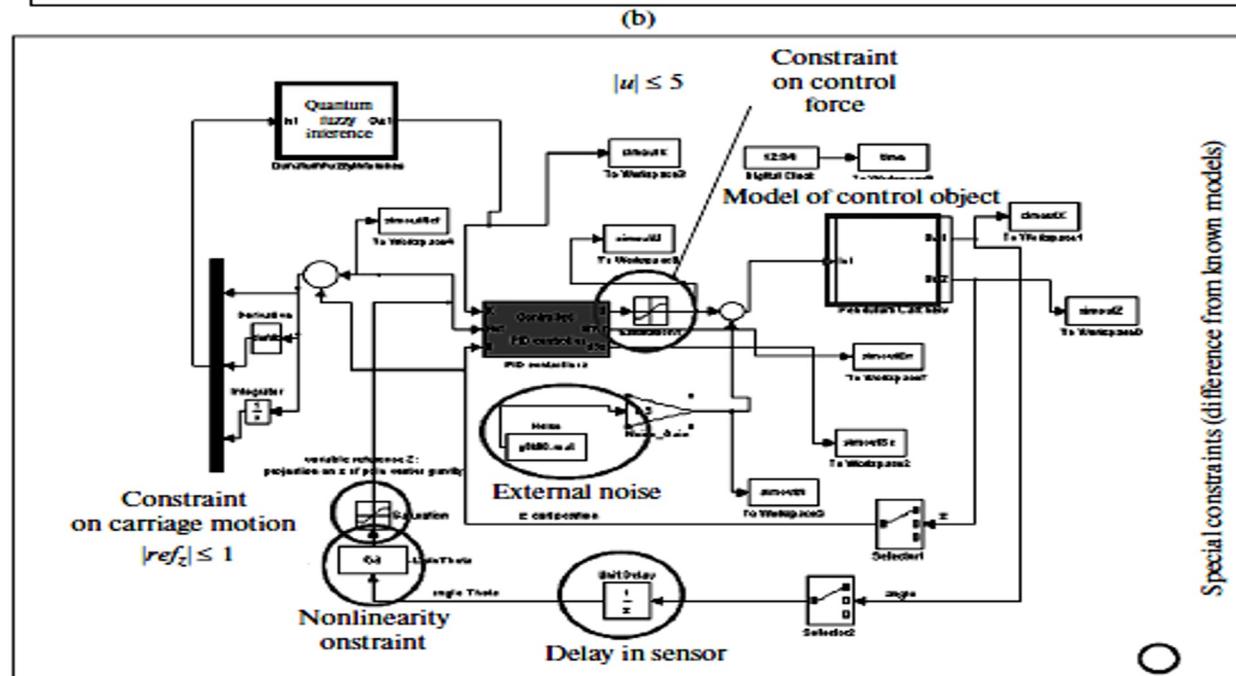
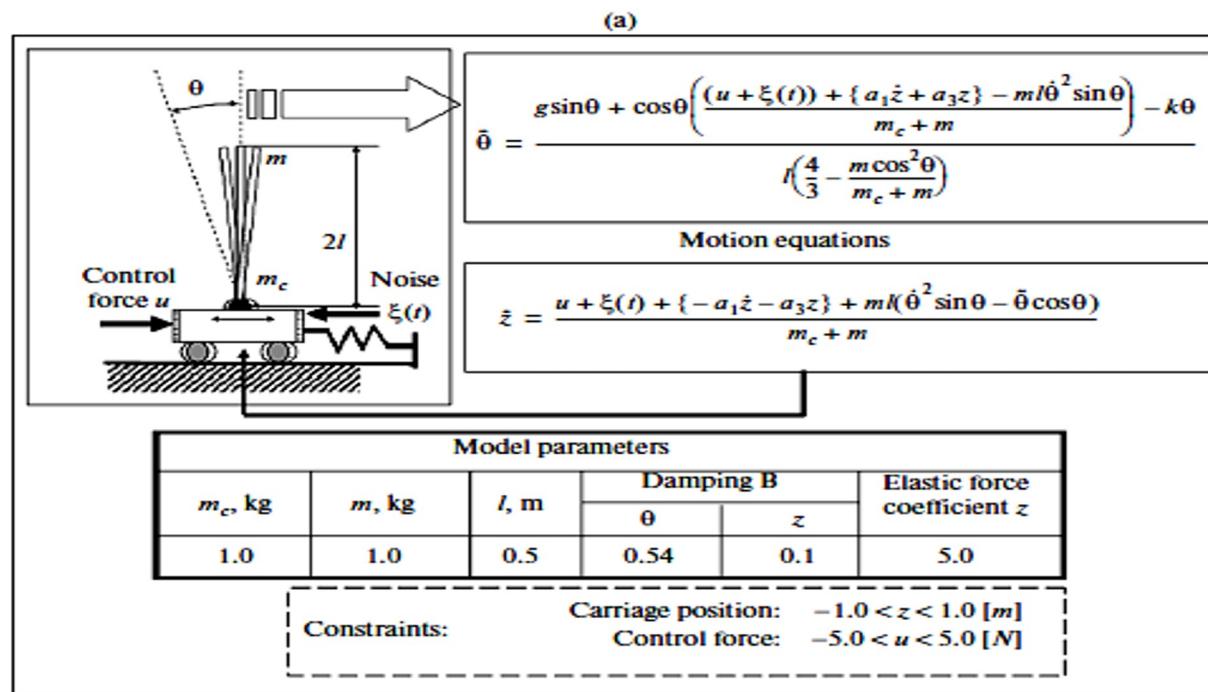


Quantum End-to-End Information Technology of Computational Intelligence:

- AI ecosystems;
- Physical equipment;
- Intelligent control;
- Cognitive systems;
- Intelligent robotics;
- Cognitive robotics;
- Quantum communication;
- Computational Intelligence Toolkit;
- Quantum algorithms of Analytic Big Data
- Quantum relativistic informatics

Benchmark simulation:

1. Cart – Pole system



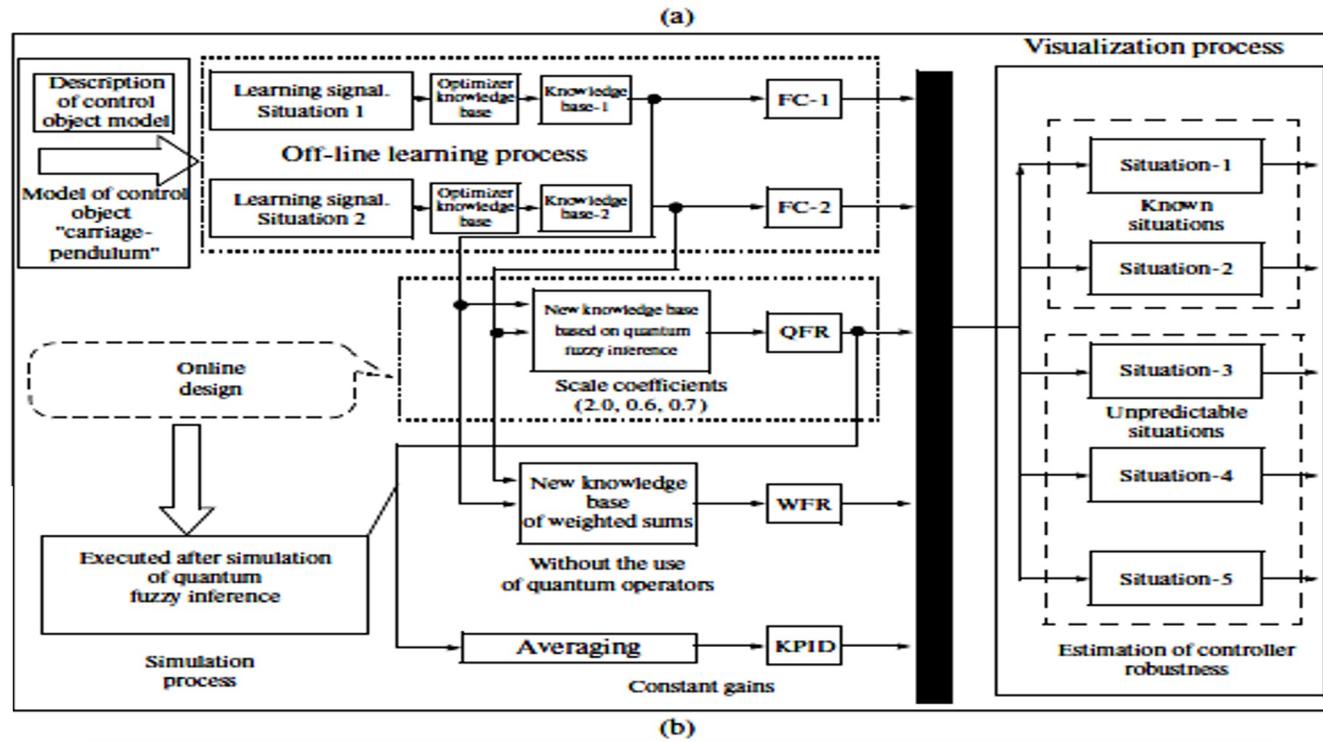
Multi-objective criteria

FC 1

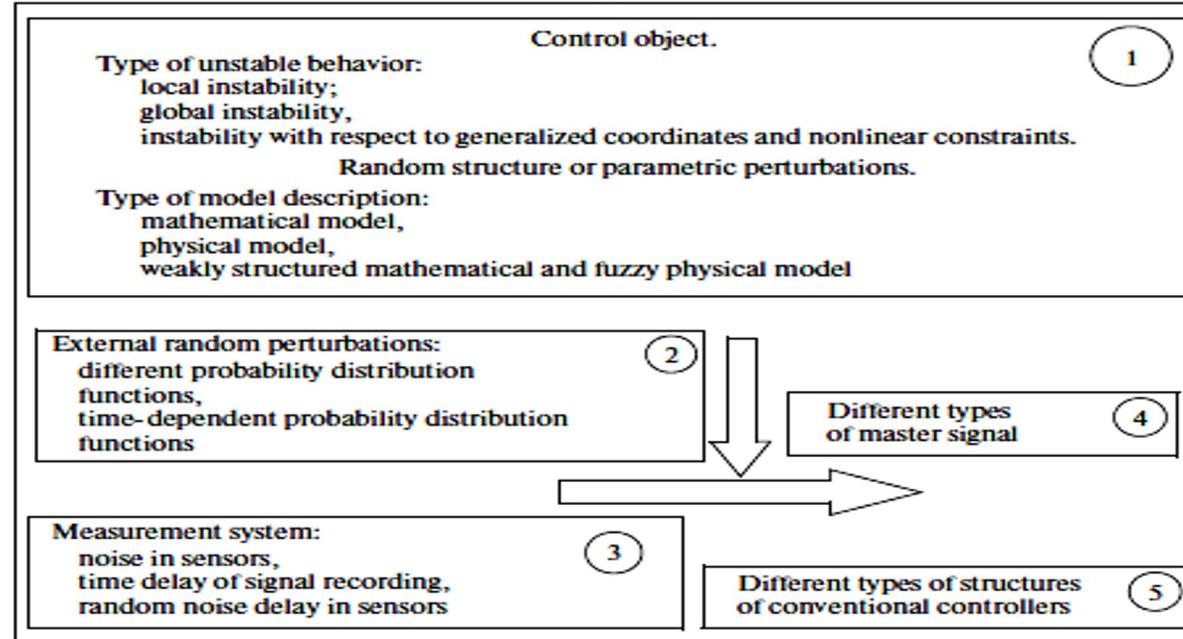
$$\left[\int_{t_0}^{t_{end}} \theta^2 dt + \int_{t_0}^{t_{end}} \dot{\theta}^2(t) dt \right],$$

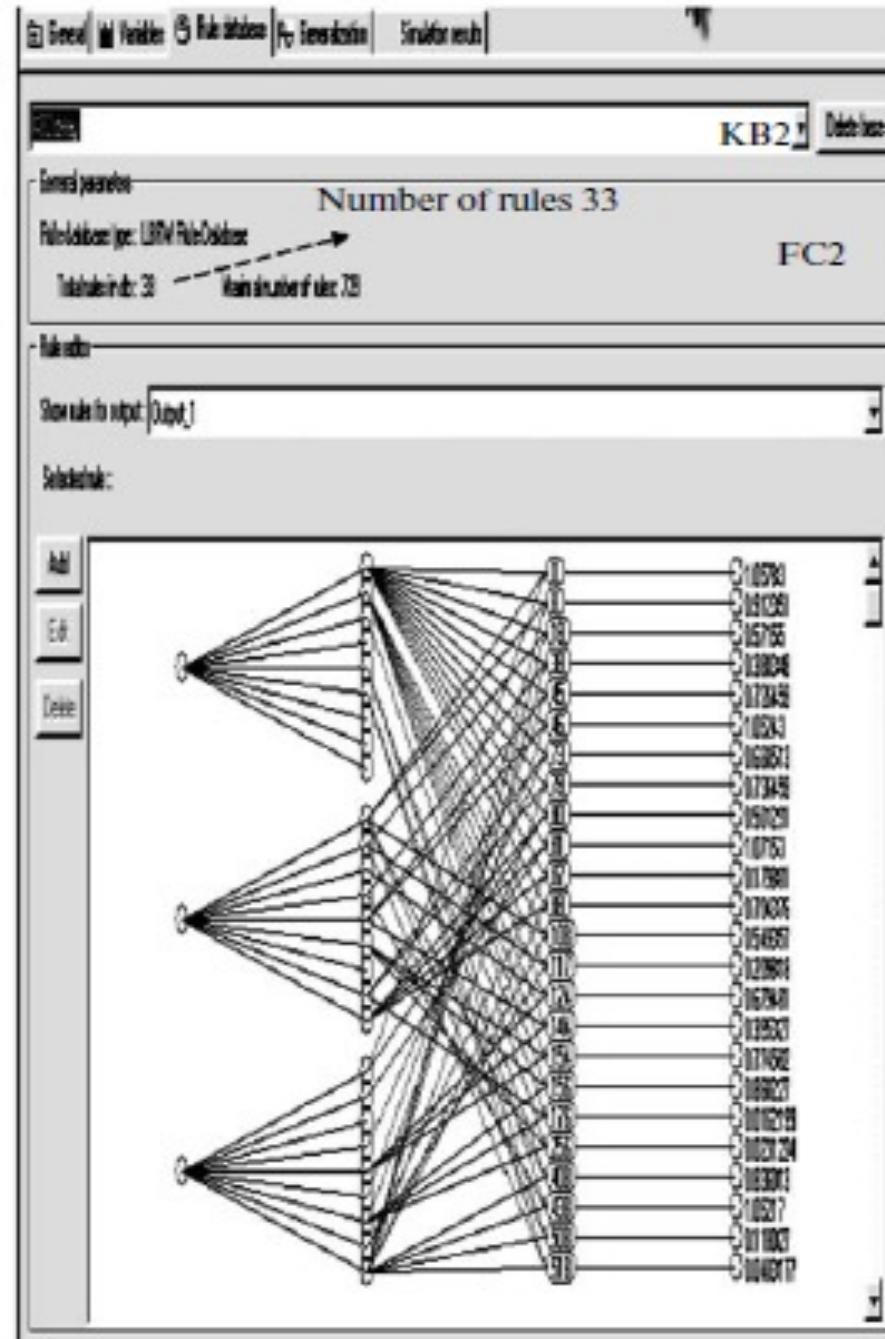
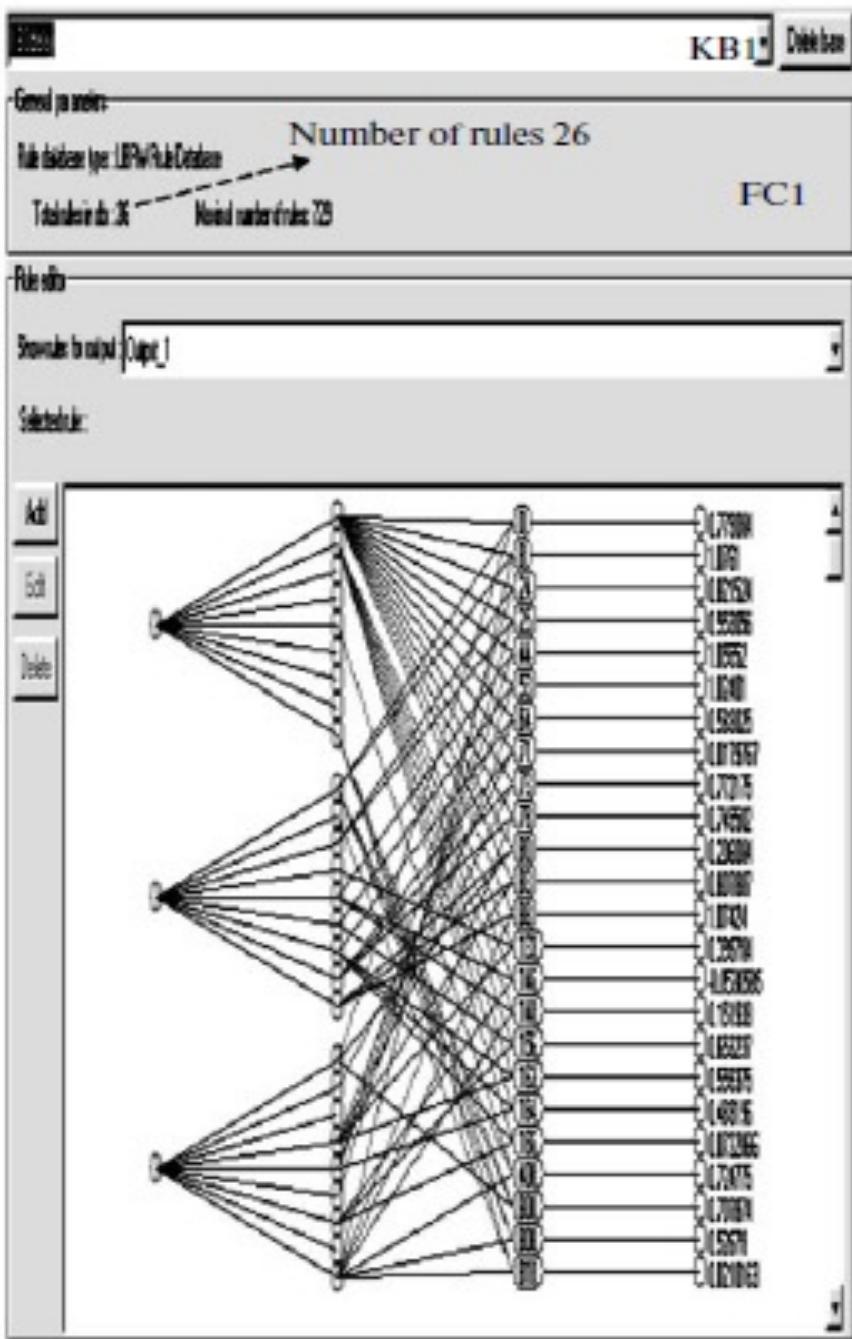
FC 2

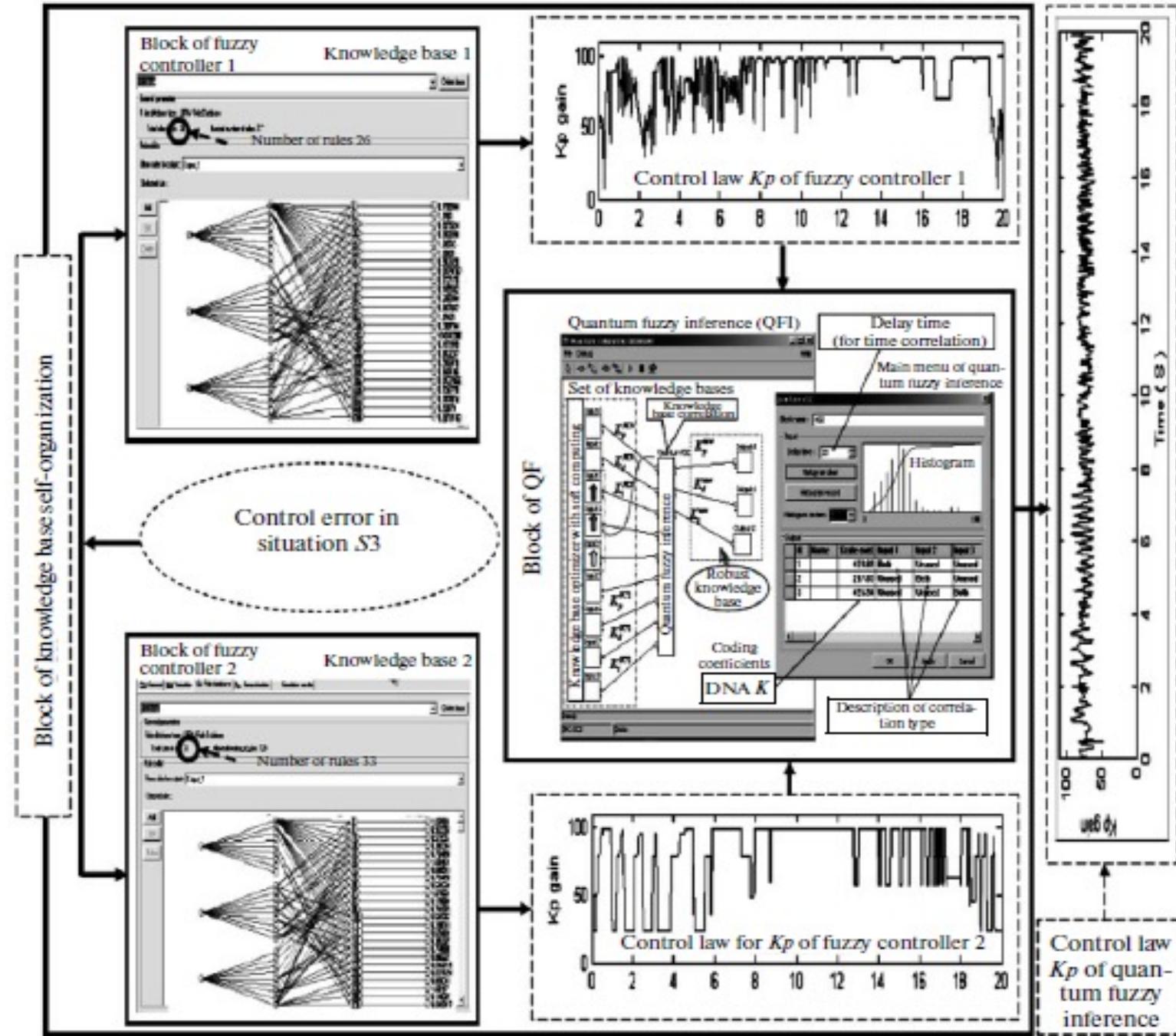
$$\left[\int_{t_0}^{t_{end}} |\theta(\tau)| d\tau + \int_{t_0}^{t_{end}} |\dot{\theta}(\tau)| d\tau \right].$$



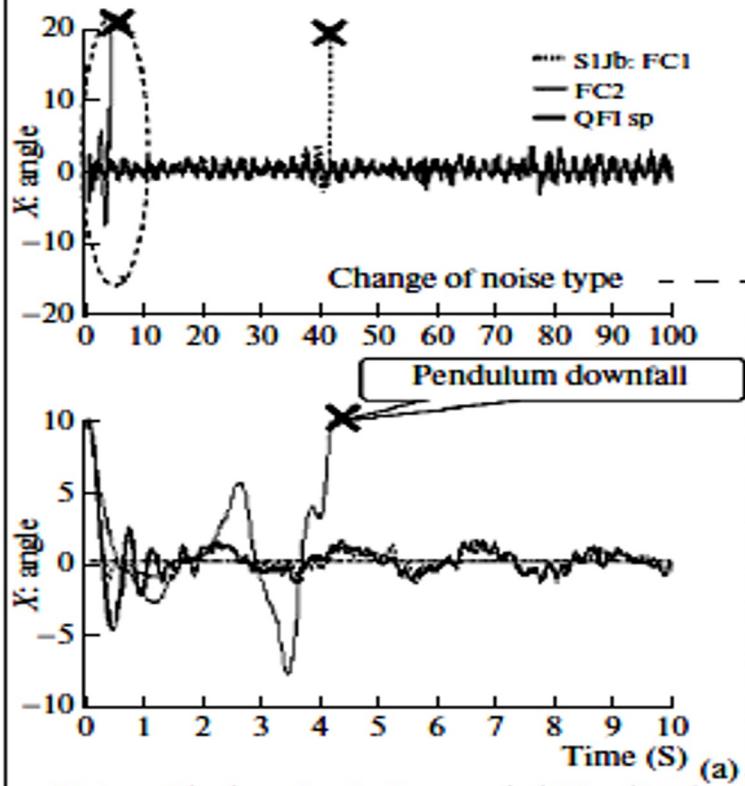
(b)



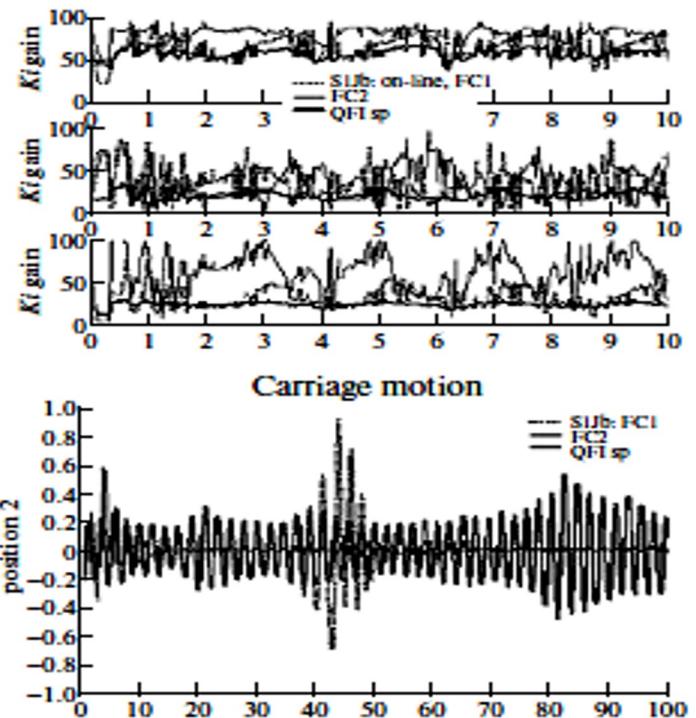




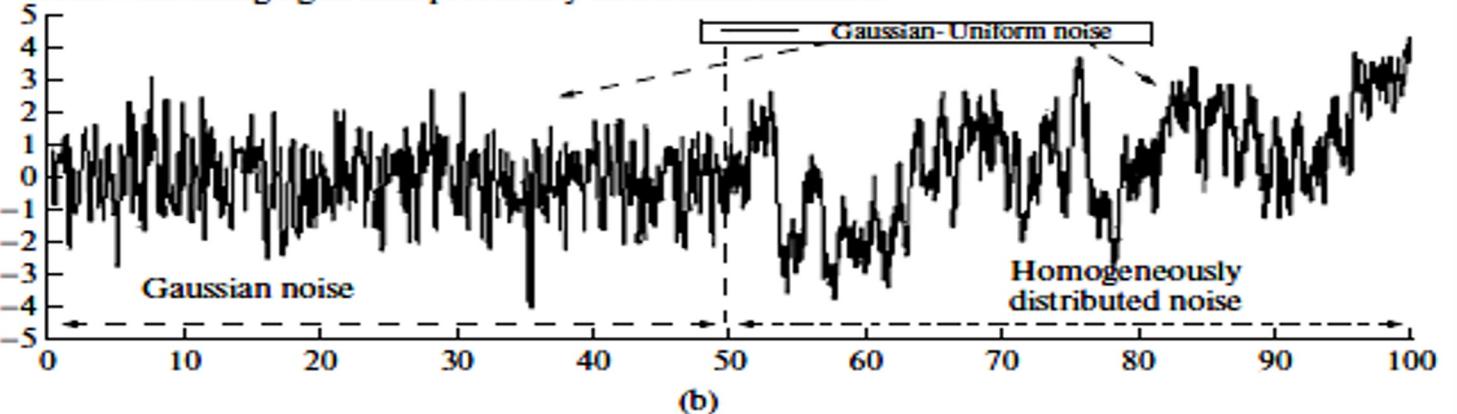
Pendulum motion

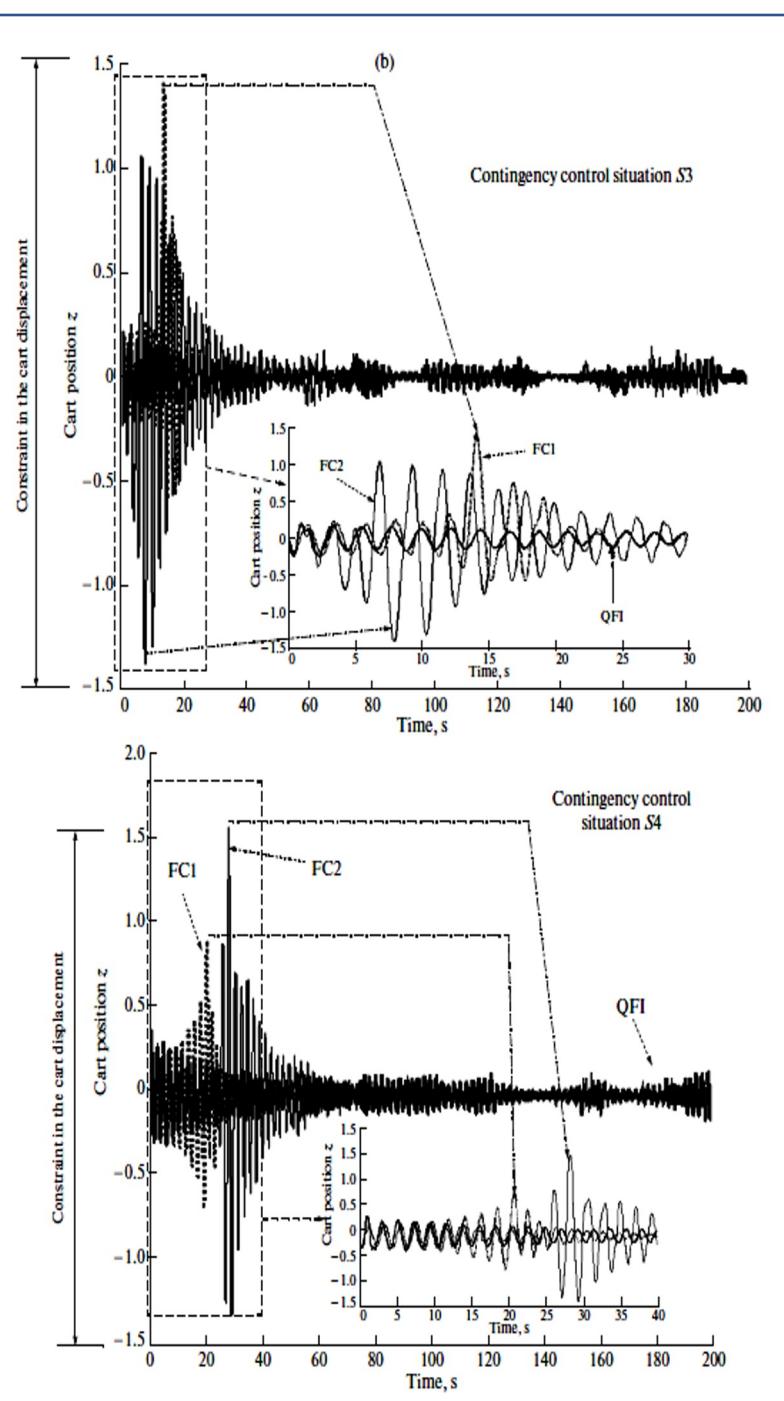
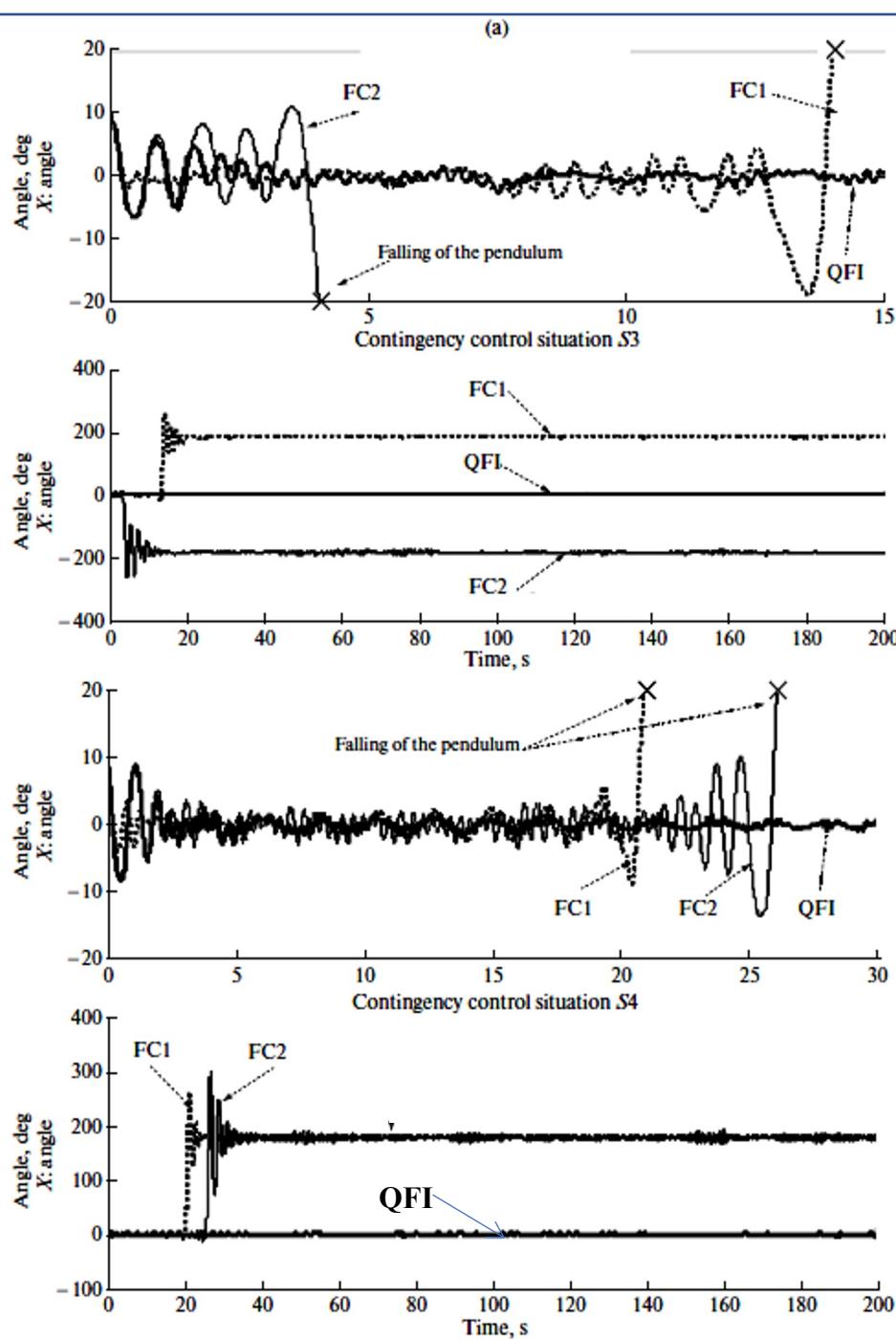


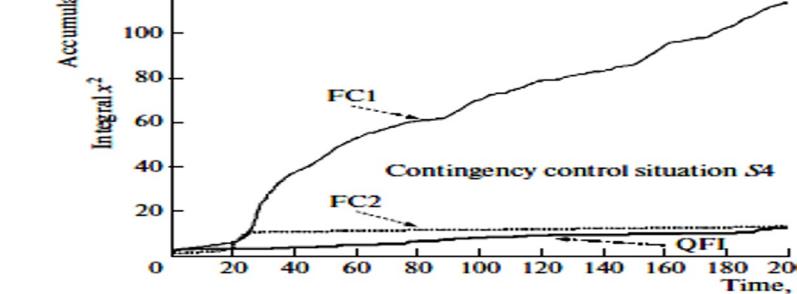
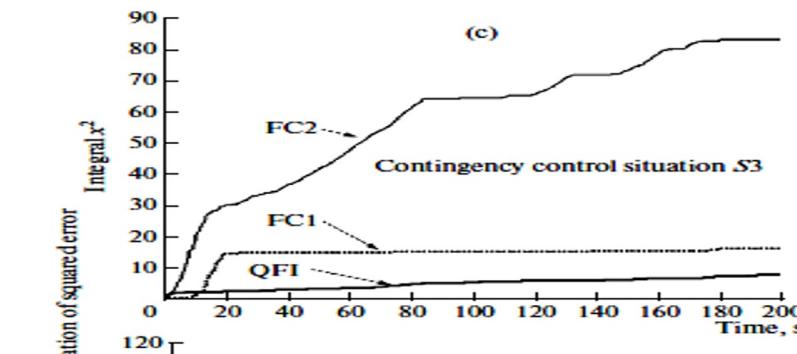
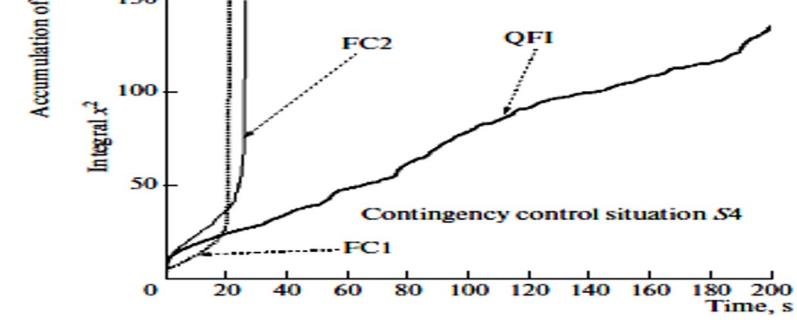
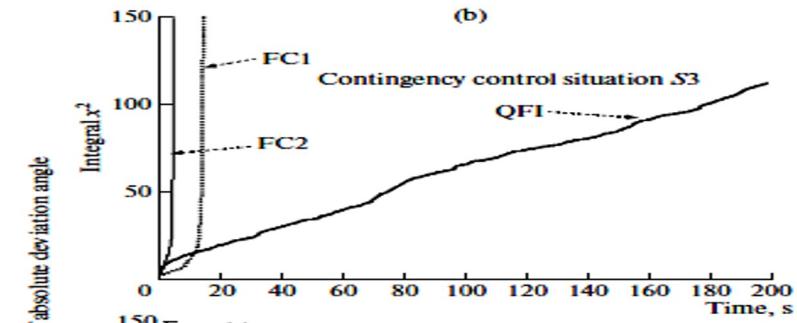
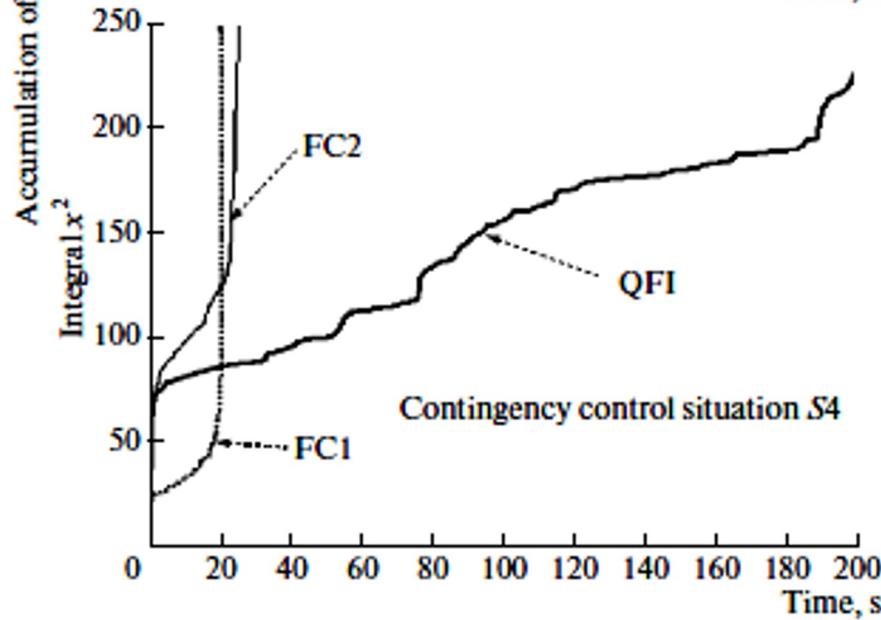
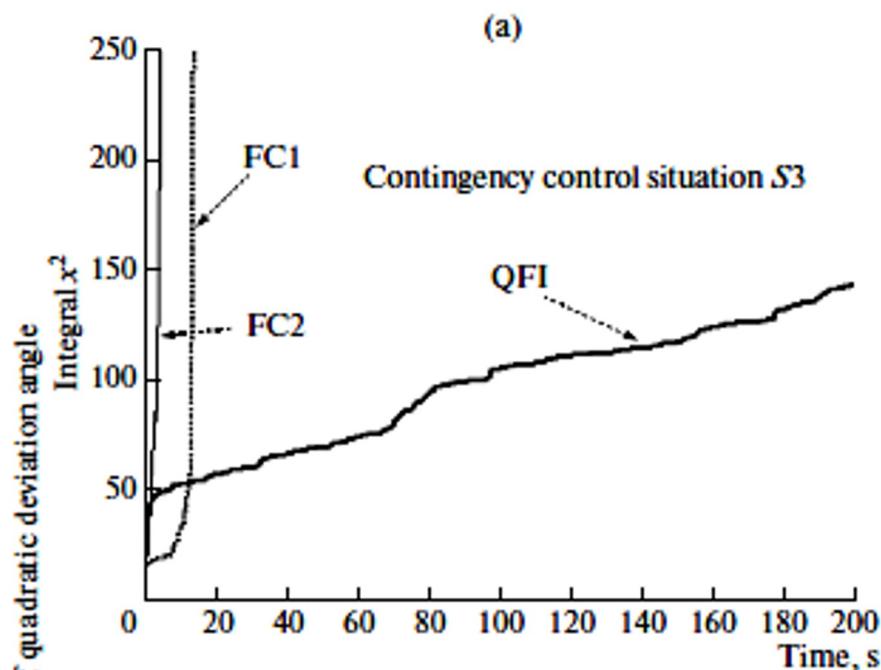
Control laws for gains

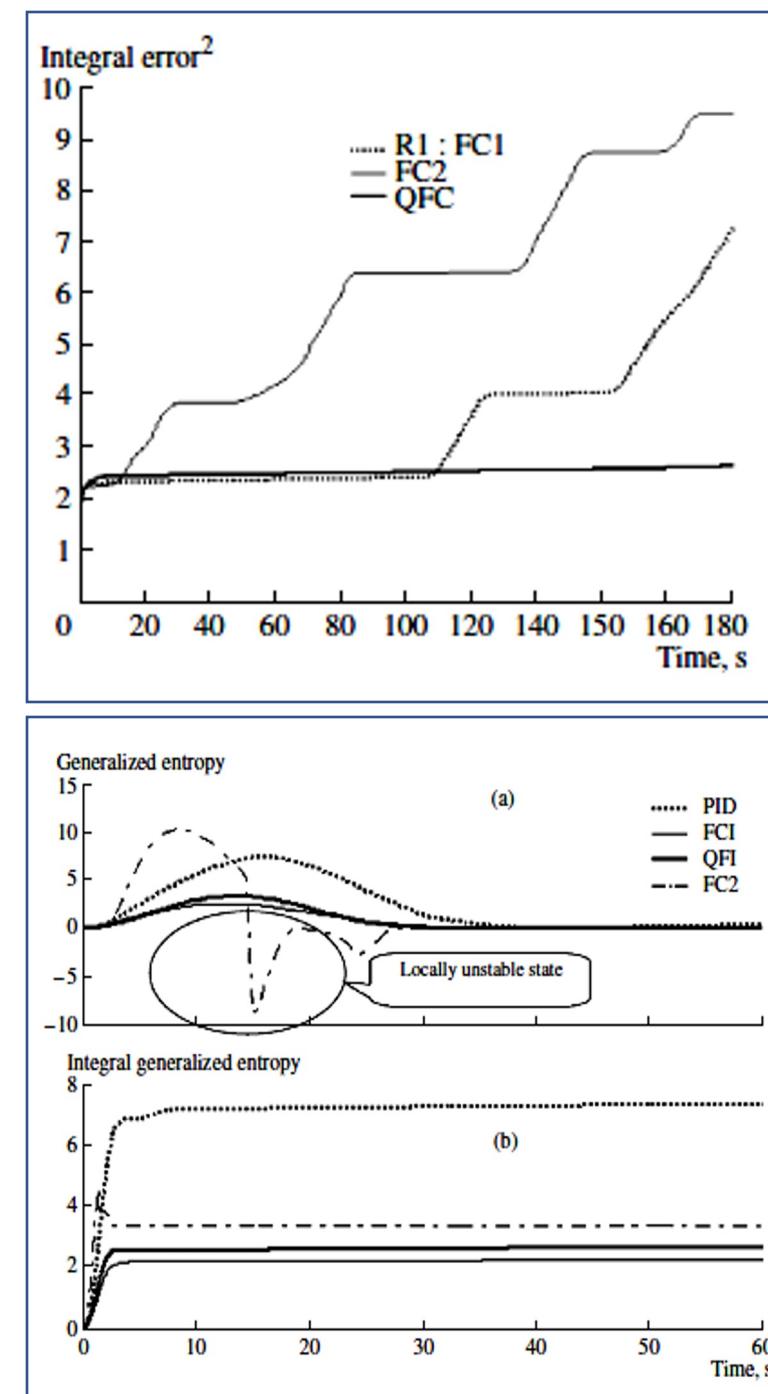
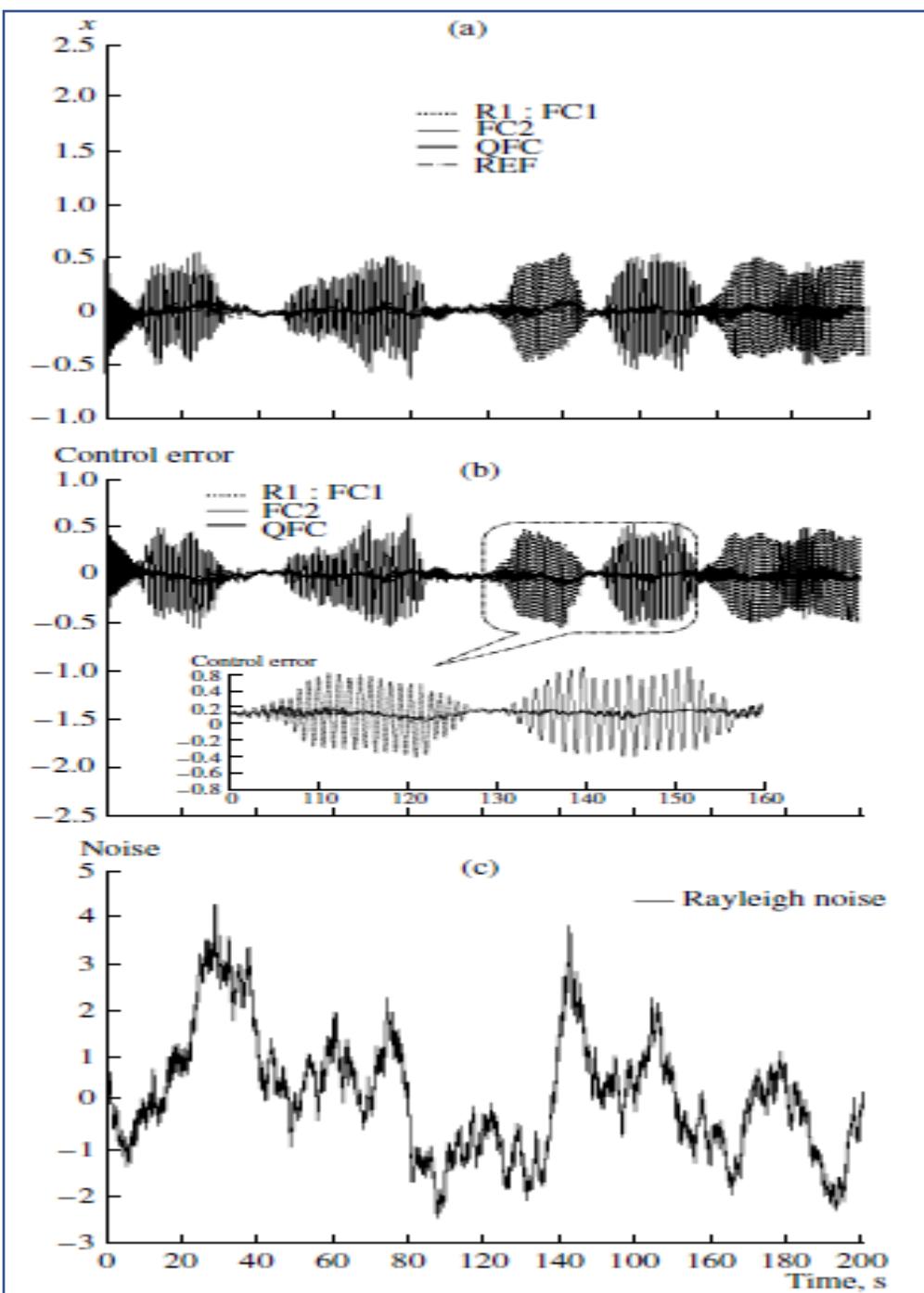


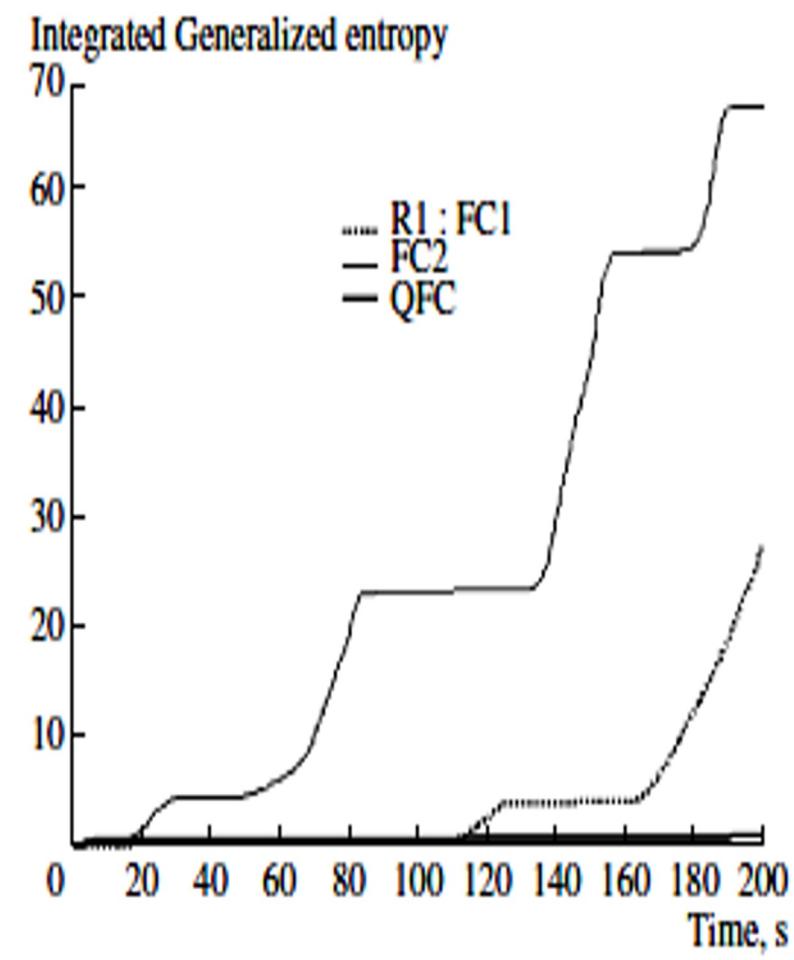
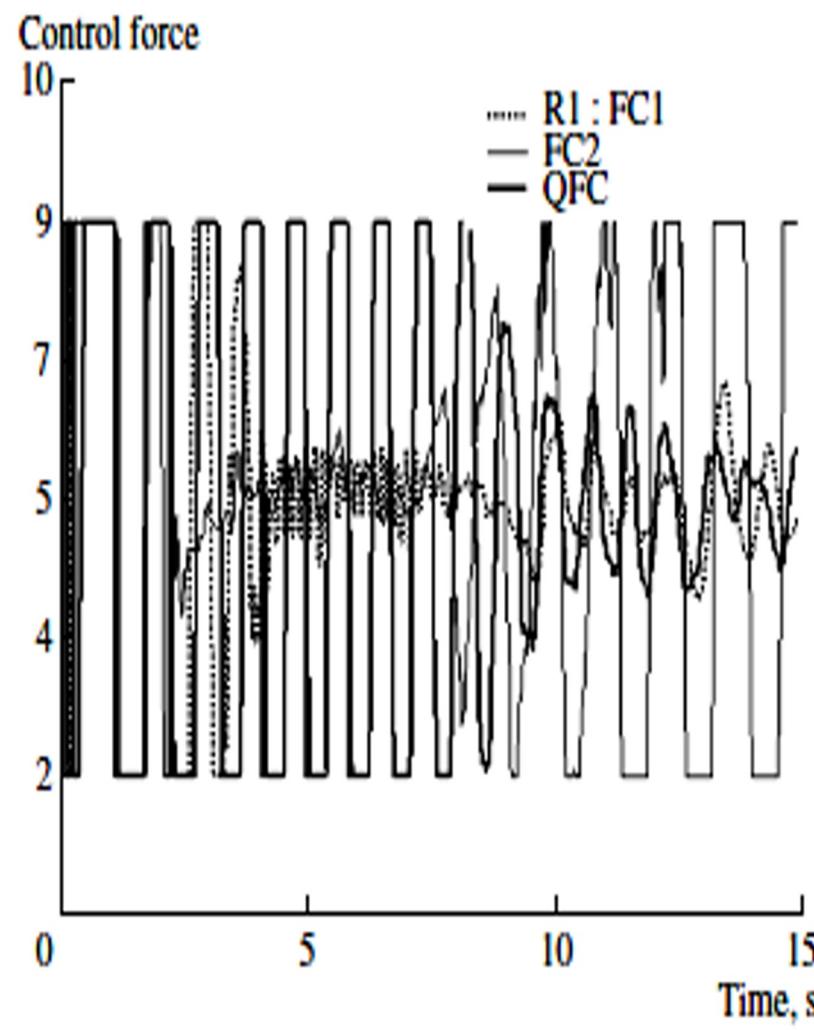
Noise with changing in time probability distribution function





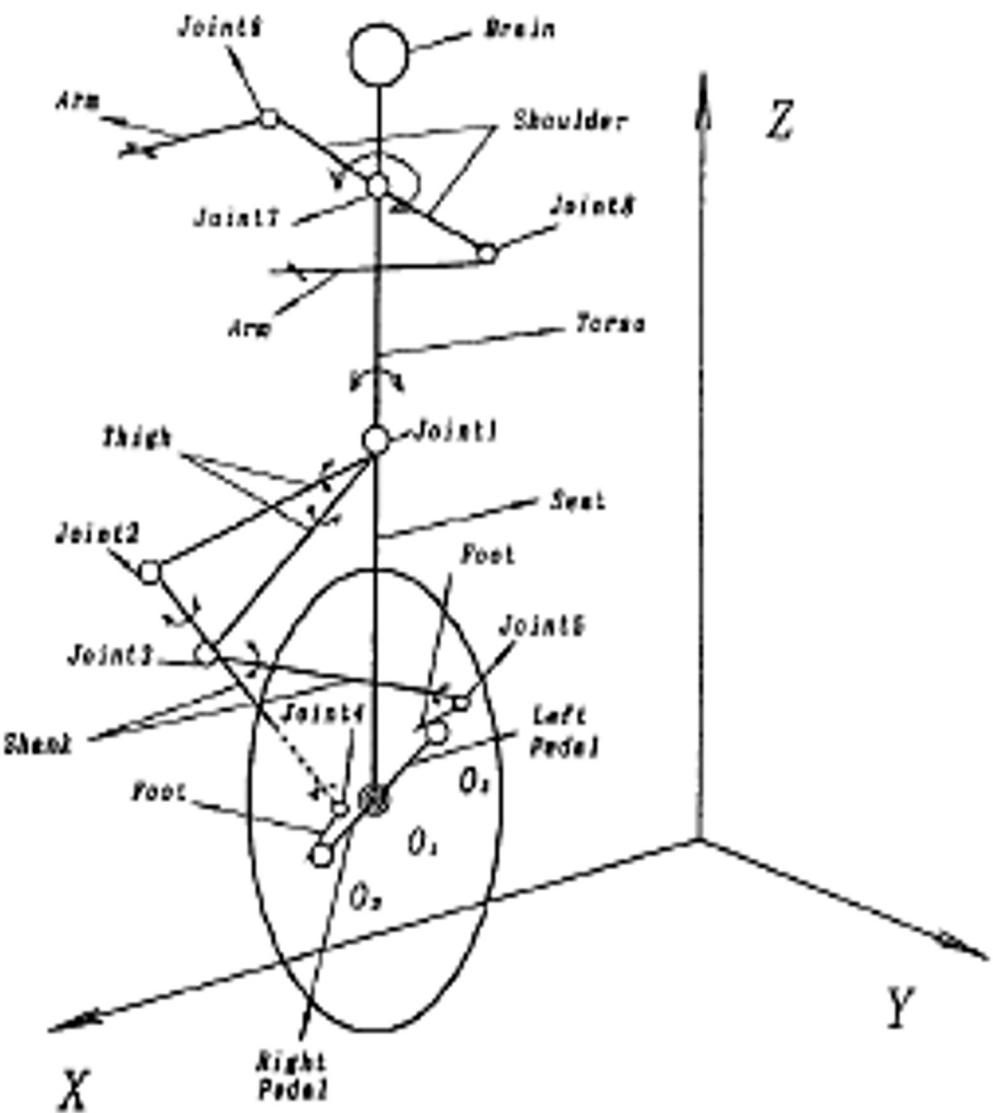


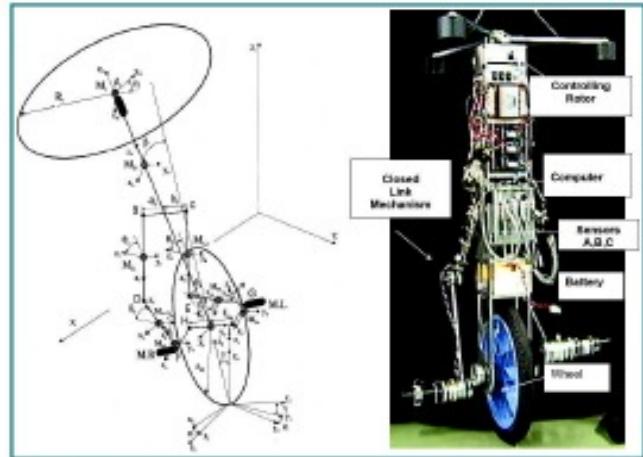




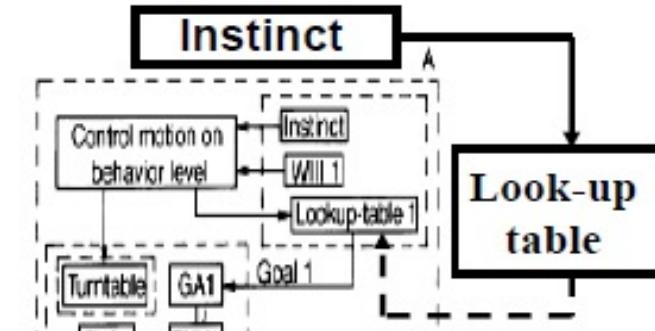
2. Robotic Unicycle

Intelligent Robust Control System

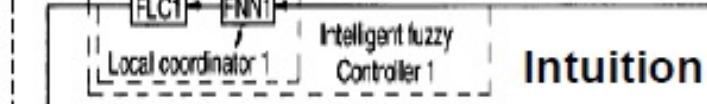




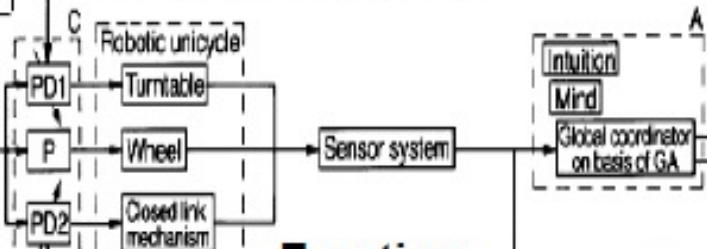
Intelligent control System of Robotic unicycle



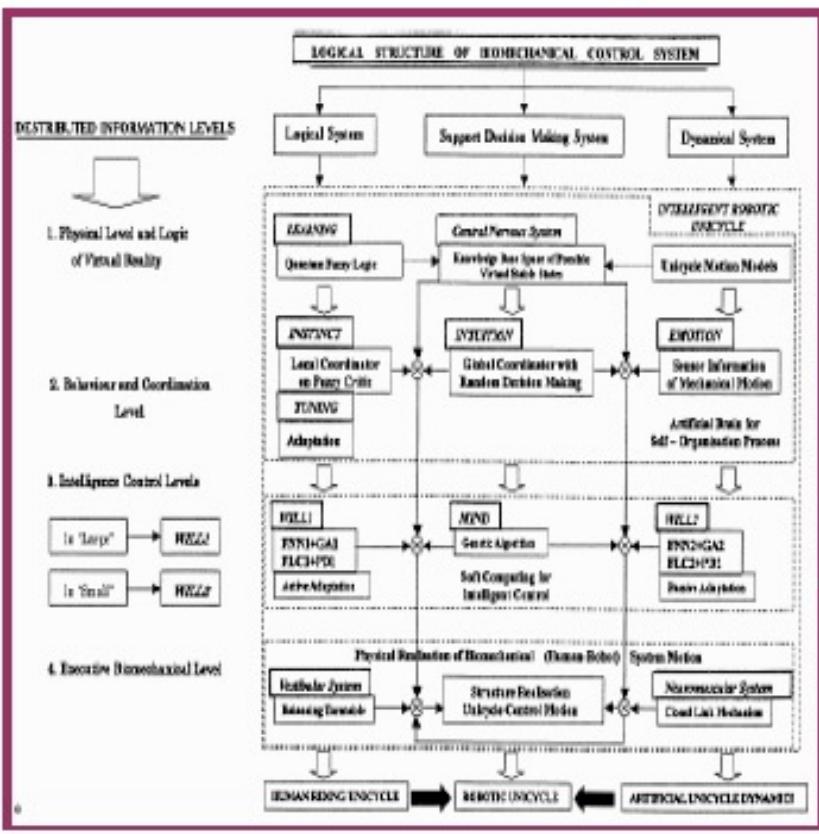
Intuition



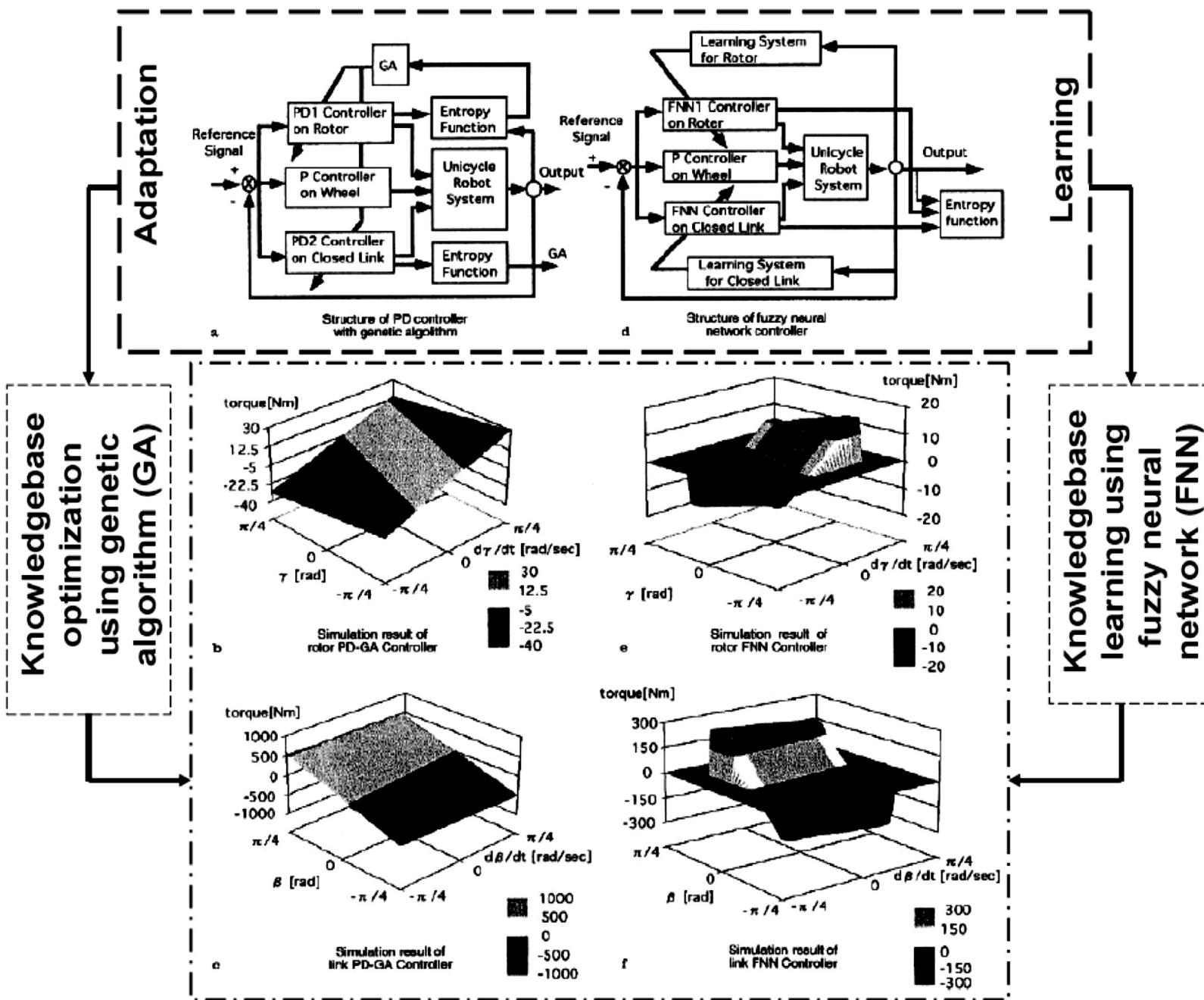
Genetic
algorithm



Kansei Engineering
Technology Design
of Intelligent Control

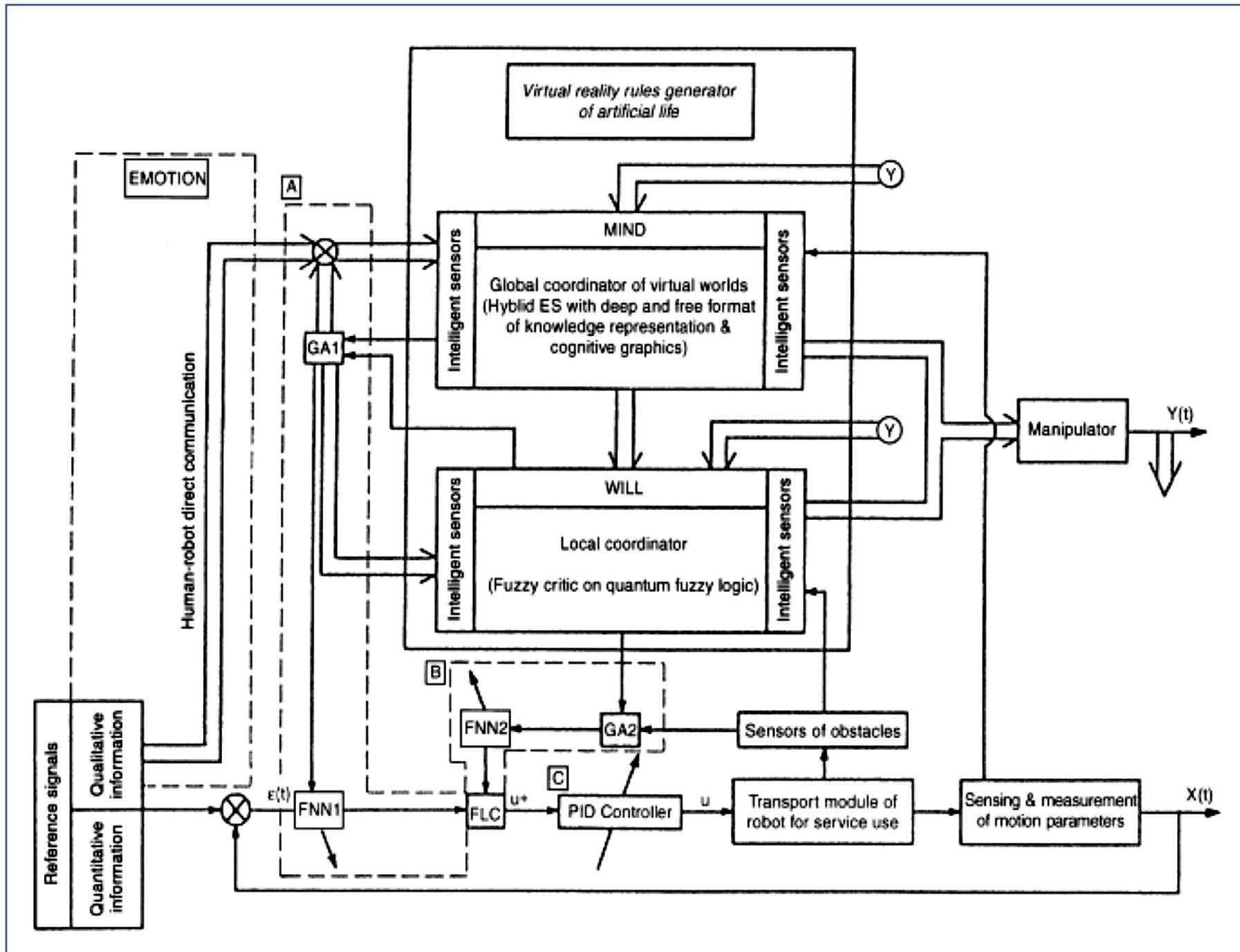


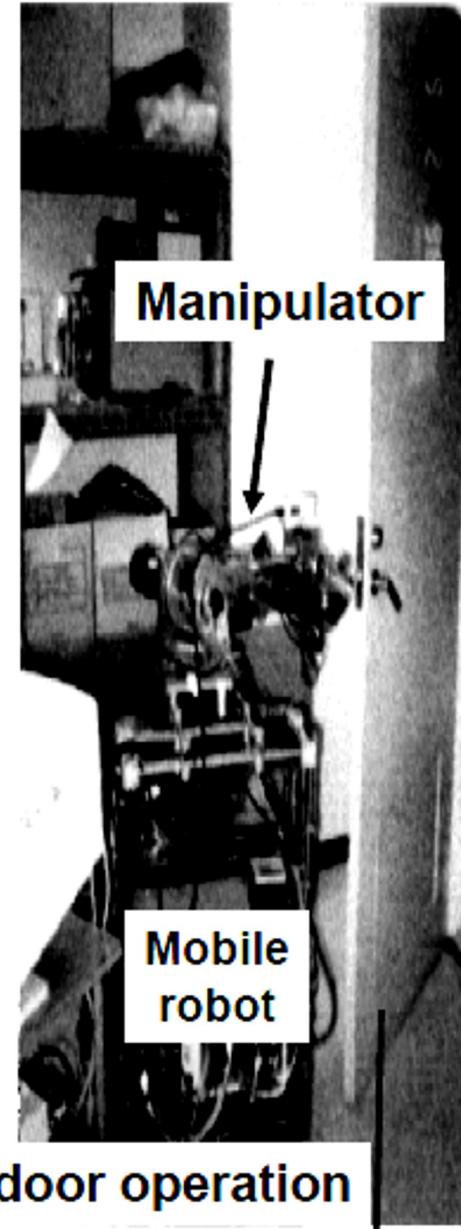
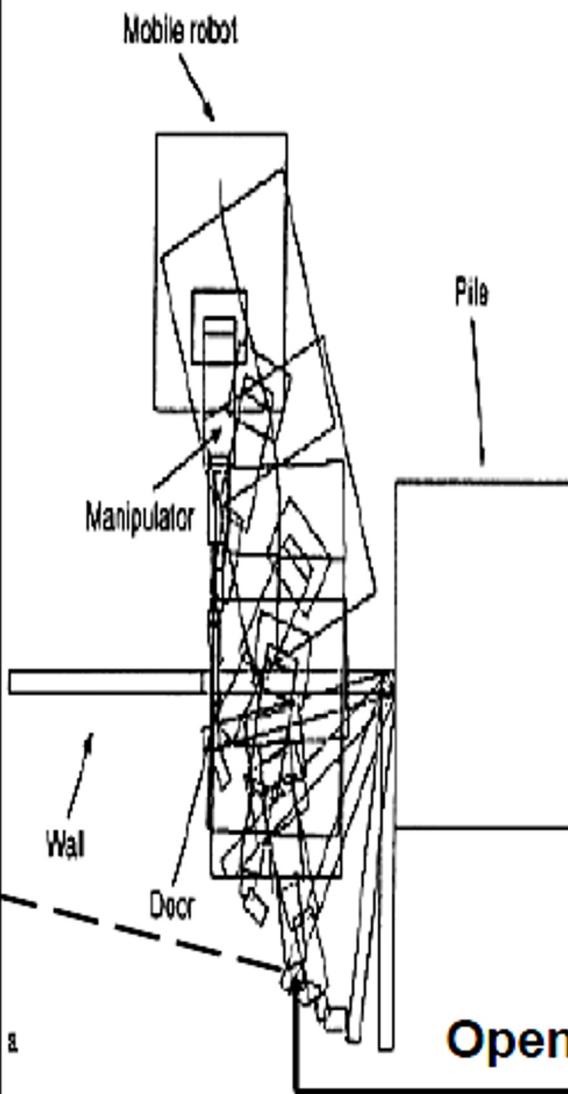
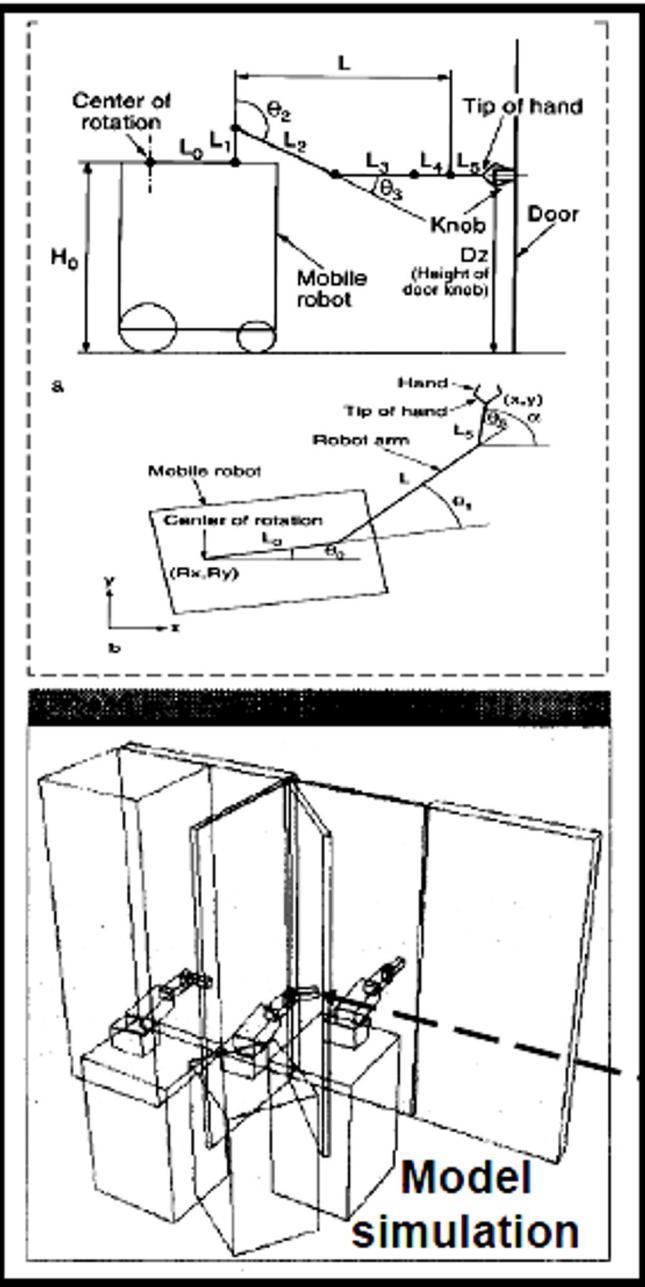
Bio-inspired model of robotic unicycle

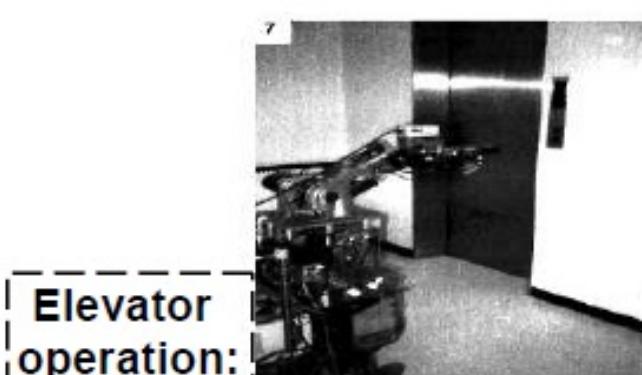
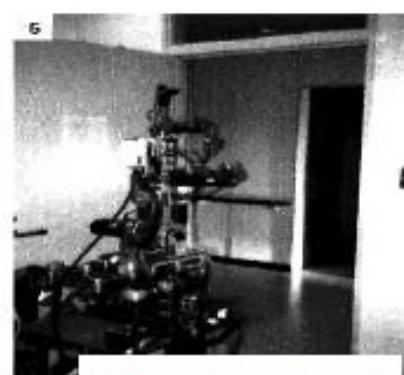
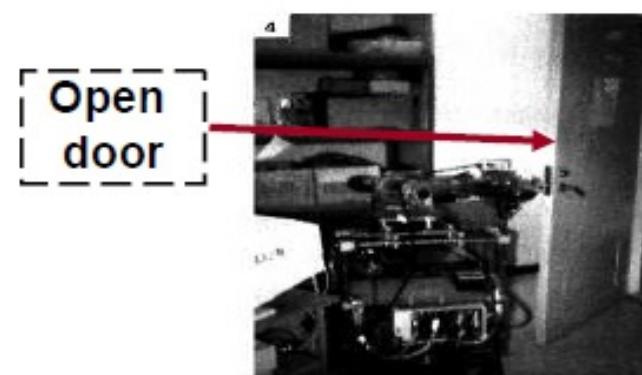
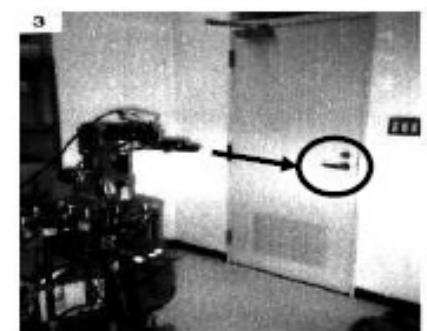
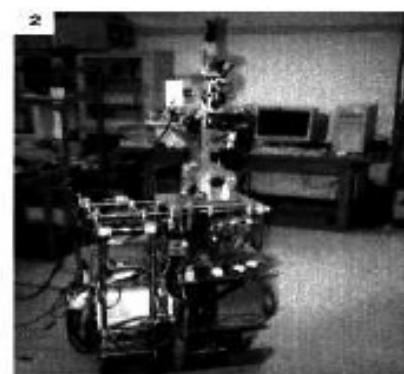
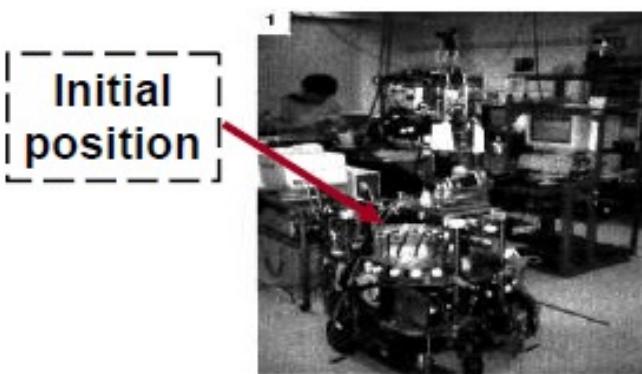


3. Mobile Robot for Service Use

**7 DOF manipulator with three intelligent FPID and
one intelligent PD on vehicle**



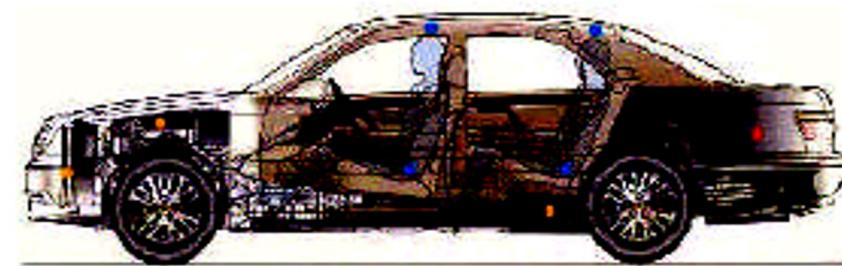
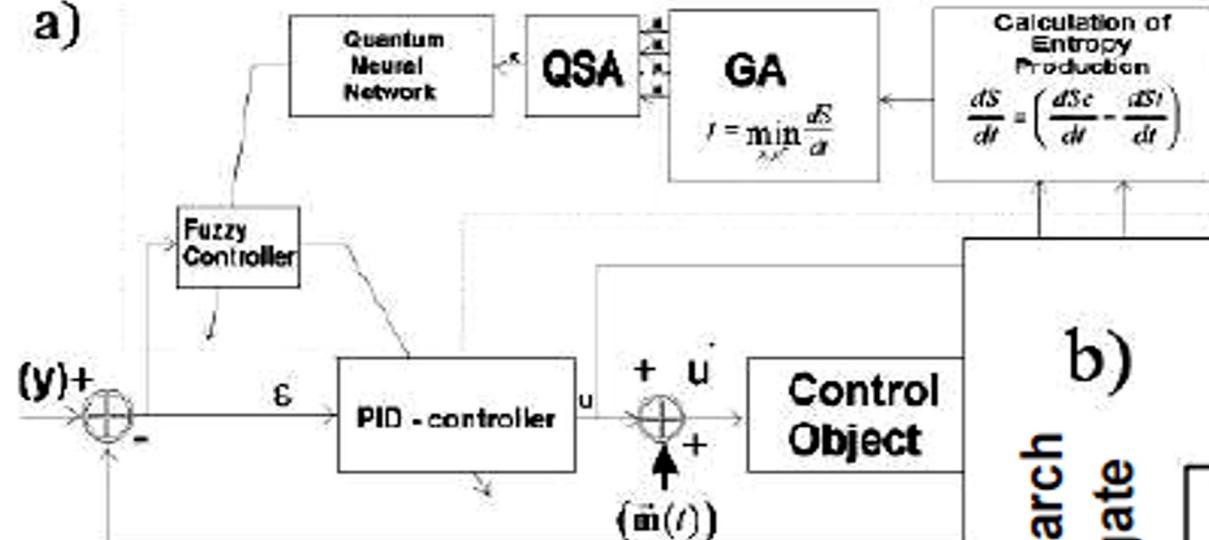




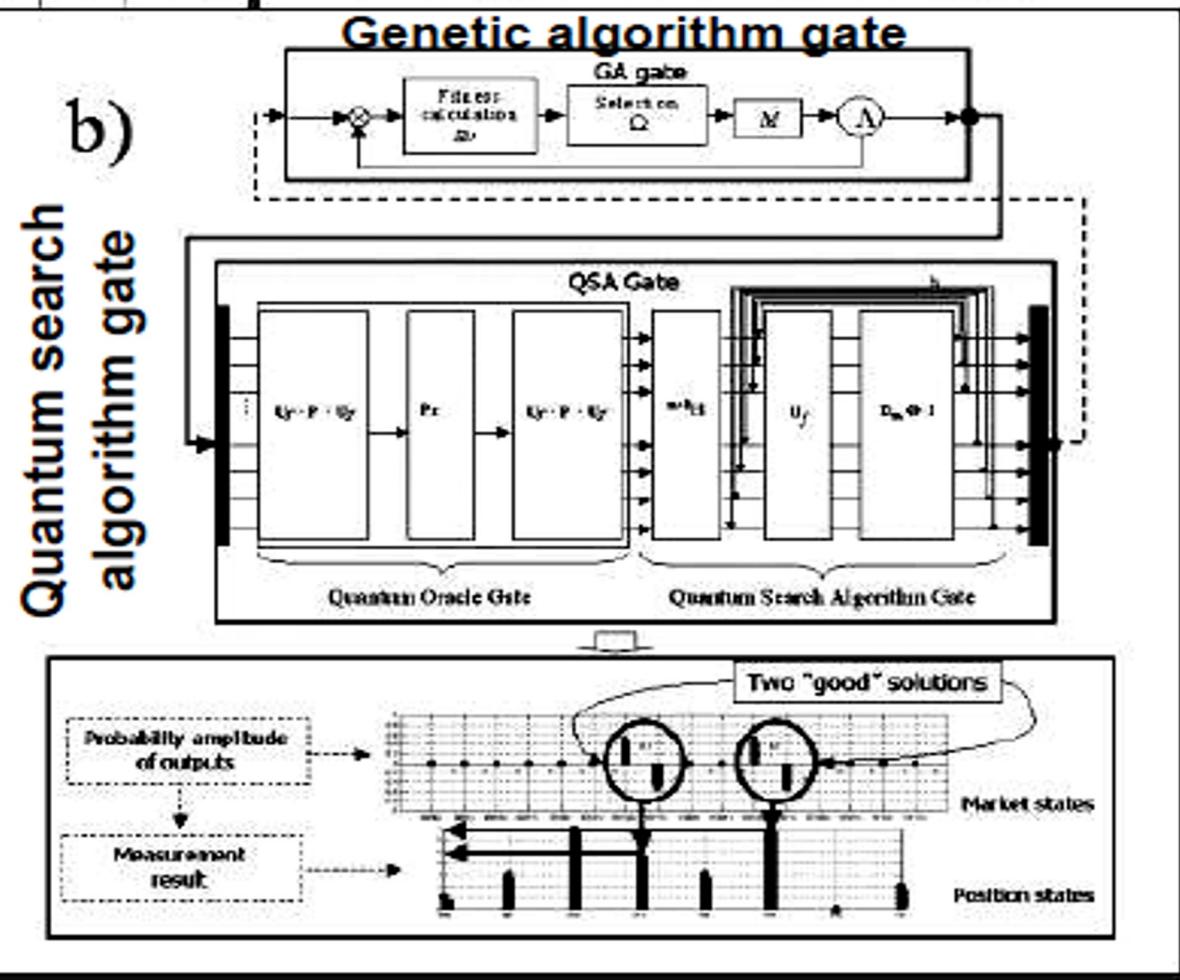
→ (7) bottom choice; (8) bottom push; (9) open door & go to elevator cabin

4. Полуактивная подвеска автомобиля “Corona”

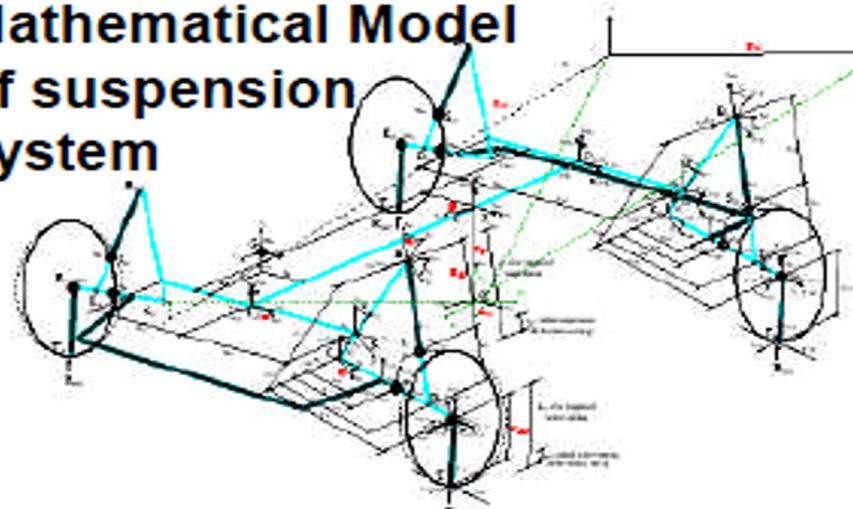
a)

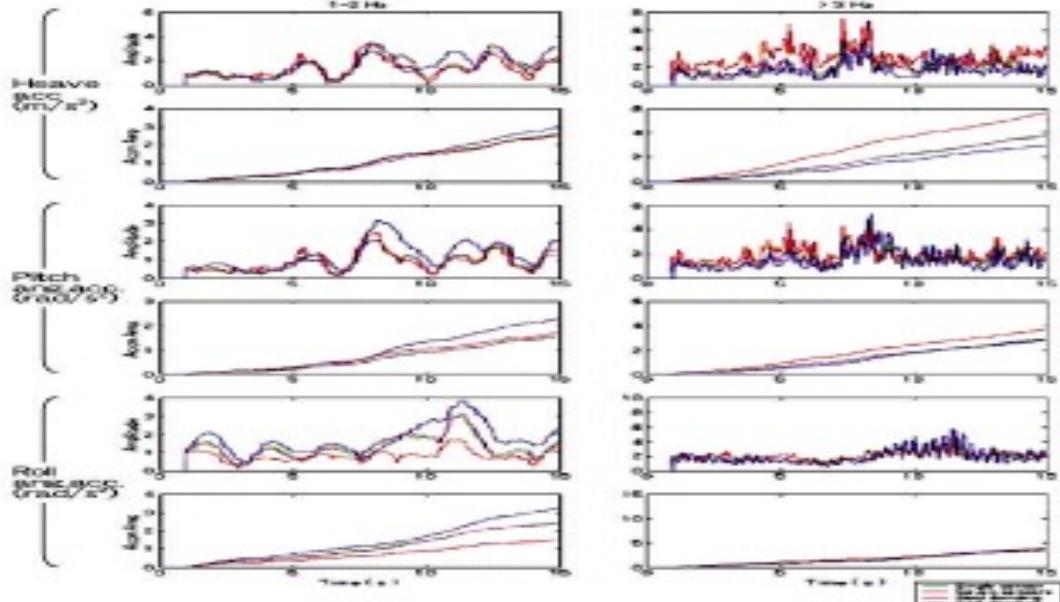


b)

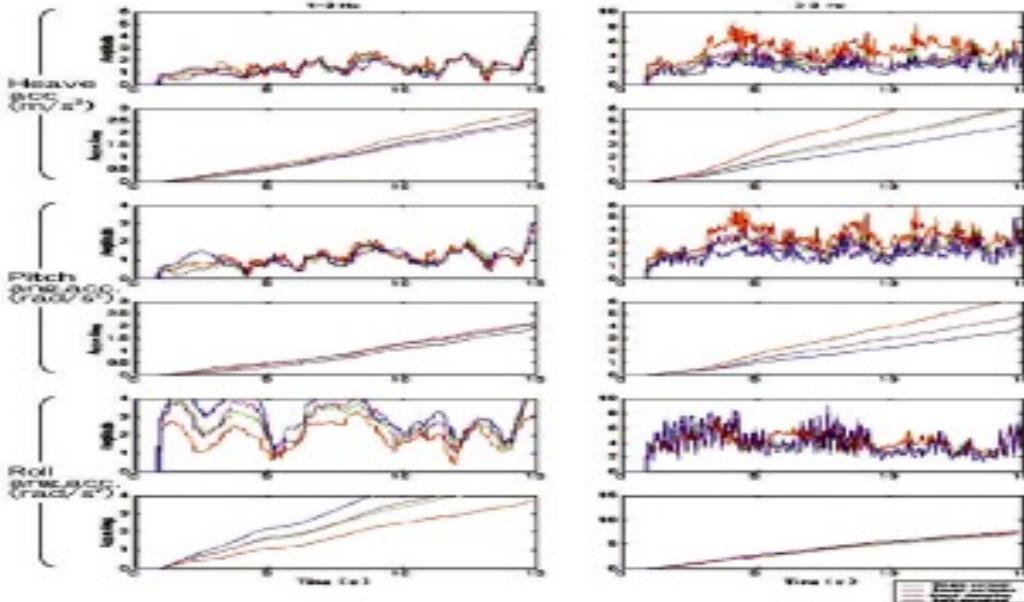


Mathematical Model of suspension system

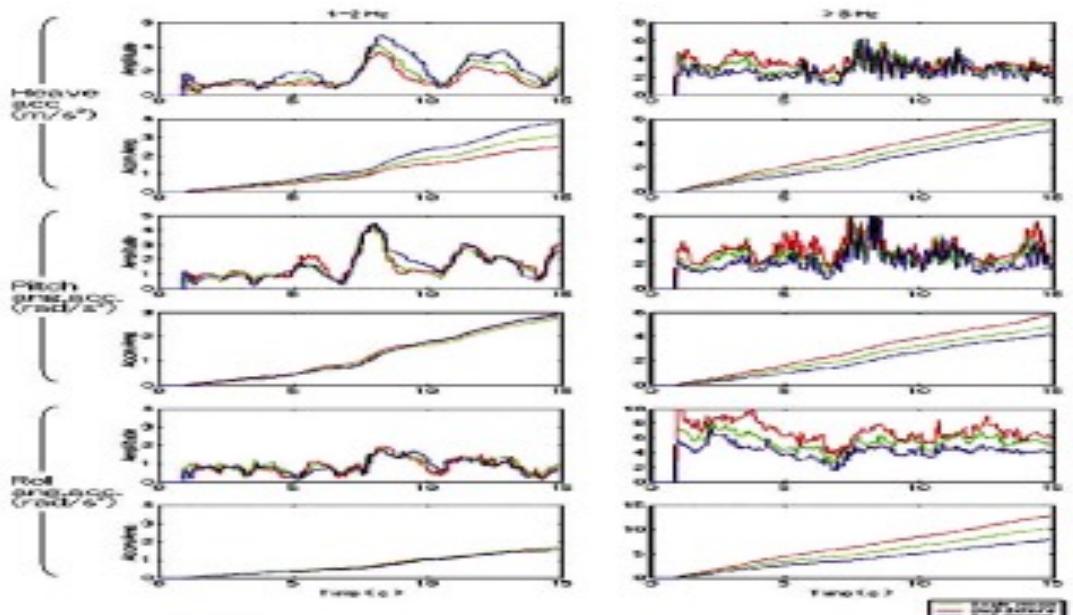




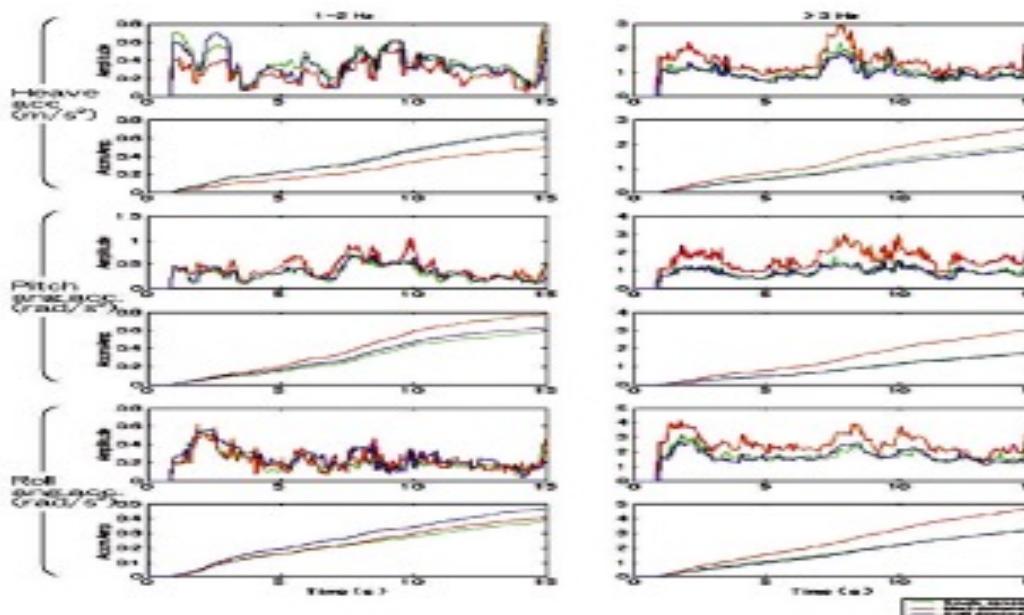
Simulation on the teaching signal road



Simulation on another road

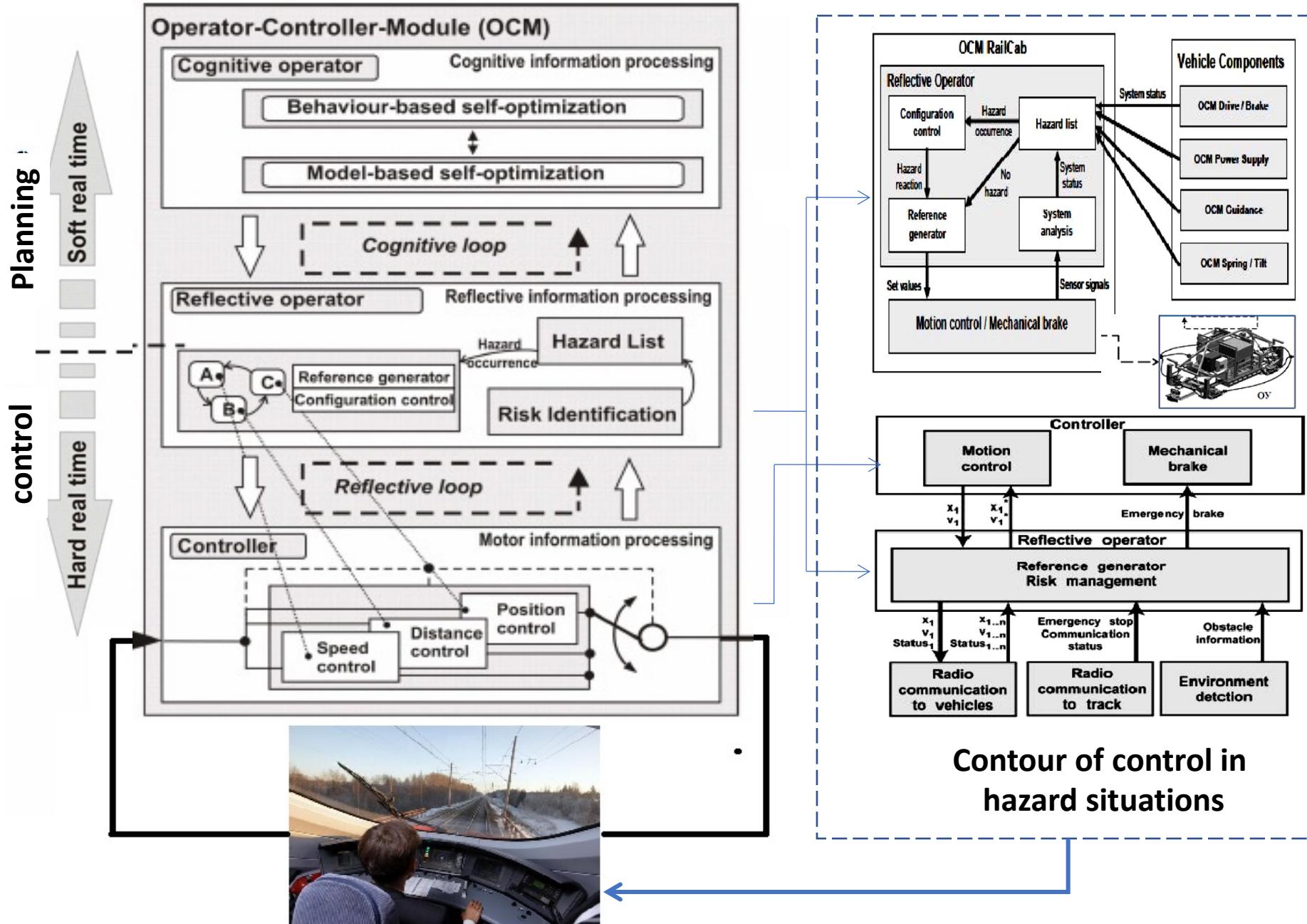


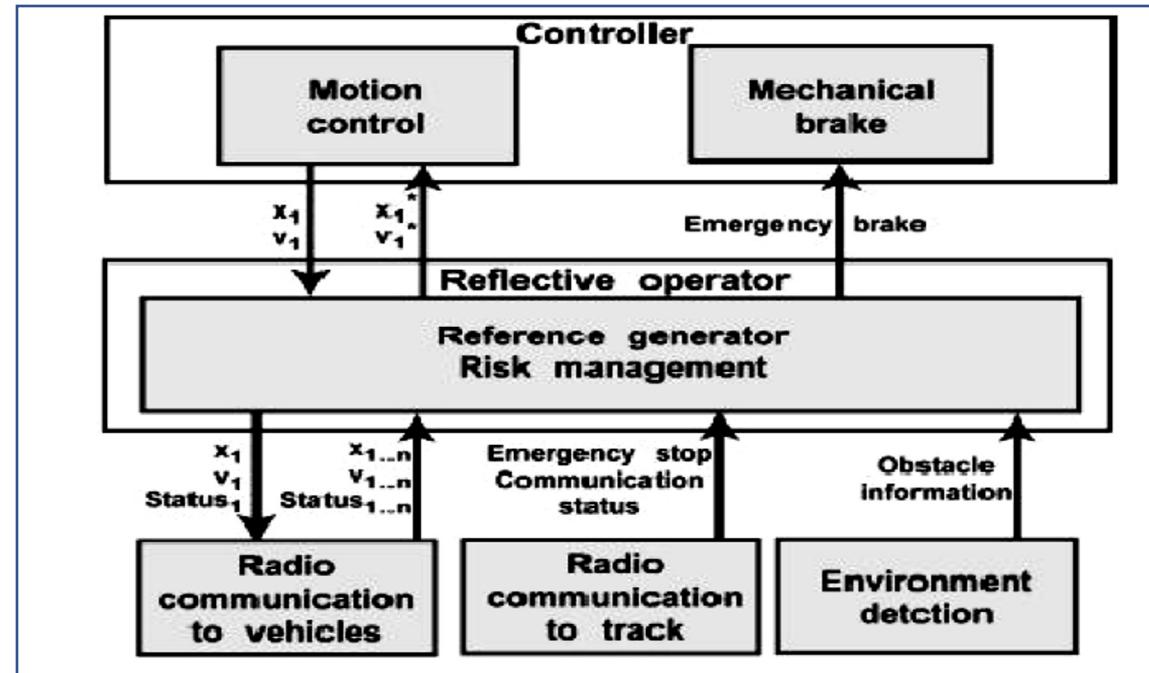
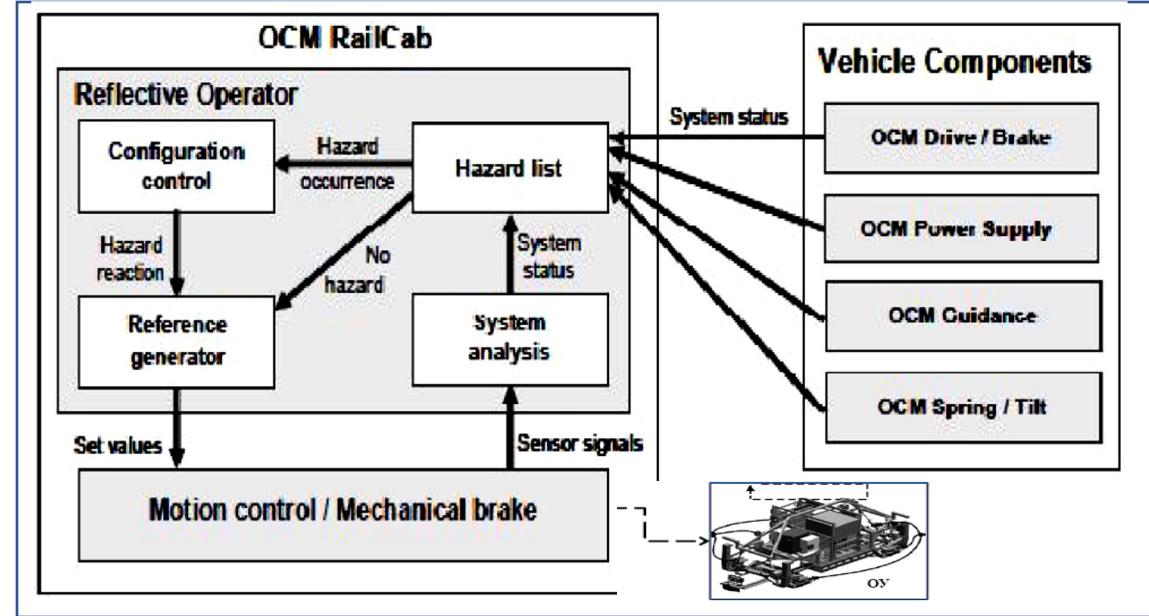
Field test on the teaching signal road



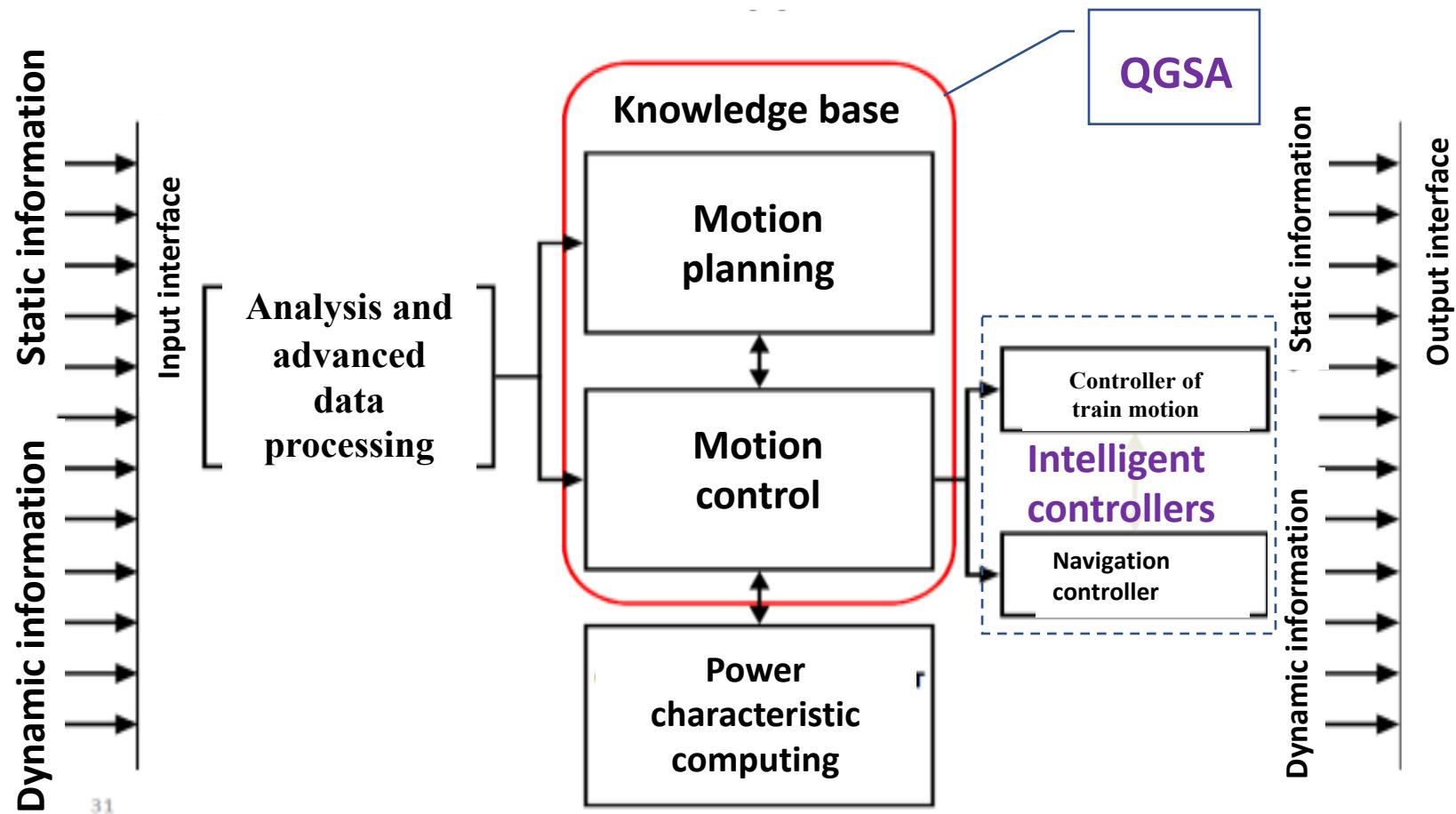
Field test on another road

5. Example of hazard situation: Fair of locomotive engine

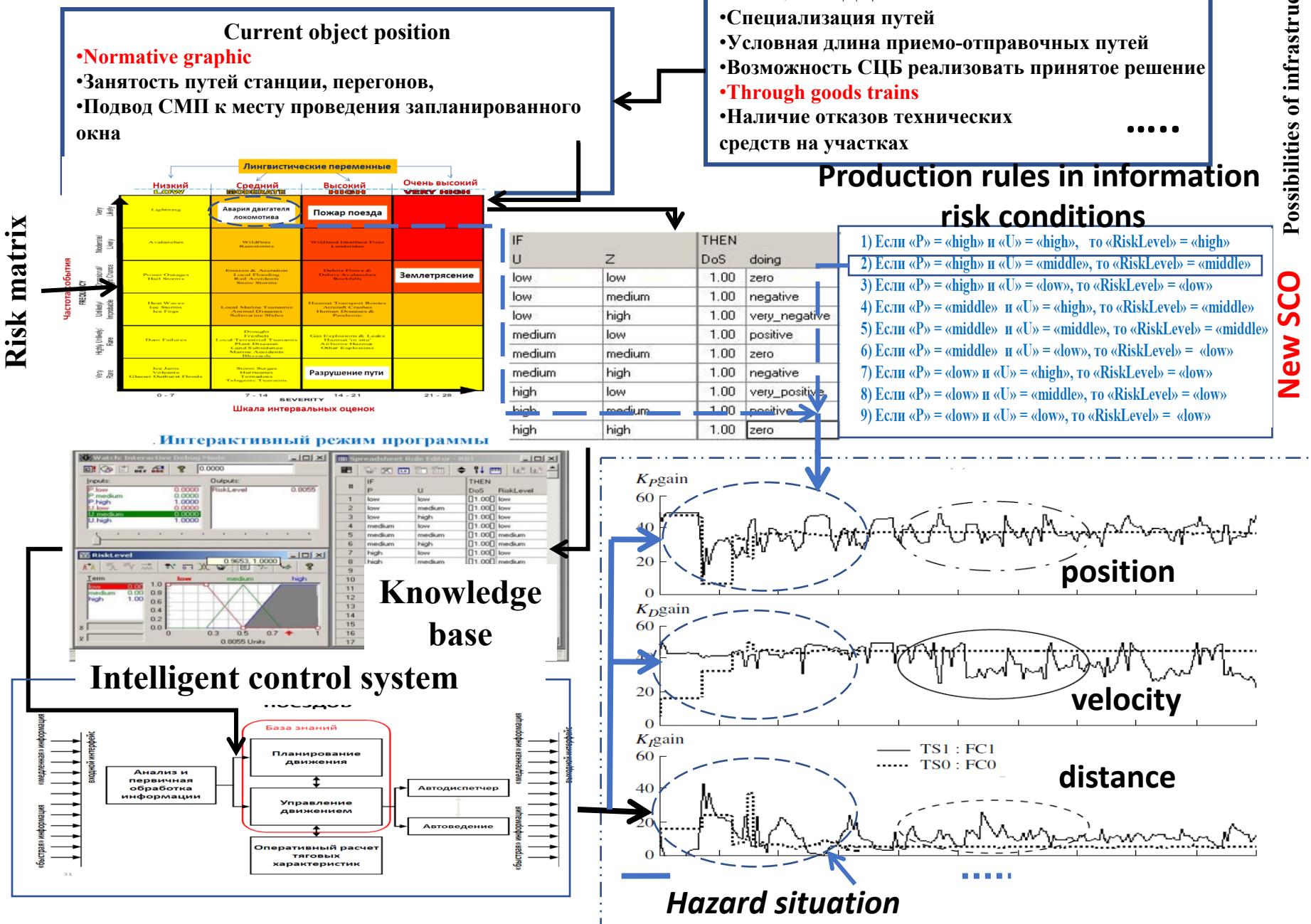




Intelligent train control



Source of hazard situations



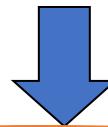
**Международная команда
в области квантовых ИТ
и квантовых вычислений**





番外：ウリアノフさんの哲学

(Ulyanov's design principles)



Полководец Хидзёси Тоётоми



Algorithm of Problem Solution

鳴かぬなら 鳴かせて見せようホトトギス

Если кукушка не кукует, то я её заставлю это делать!

Simulation problem solution of Quantum Algorithm Gate on PC



卵を立たせる(コロンブスの卵)

Колумб «заставил» яйцо стоять

Method of Solution

Quantum robust control for classical systems

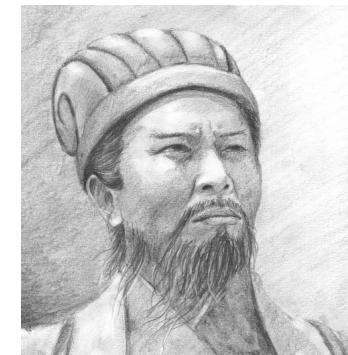
死せる孔明が生ける仲達を走らせた

Умерший полководец Кунмин обратил
в бегство живого полководца Чжунда

Information Design Technology of robust IFICS

茶柱が立っている *Result of Simulation for Business Program*

Полководец Кунмин





Монографии
по квантовым сквозным ИТ и приложениям



Catalogue_KURS_“І, ^ІÓ, _œ≈◊¿”к.pdf

Appendix: Toolkit Example

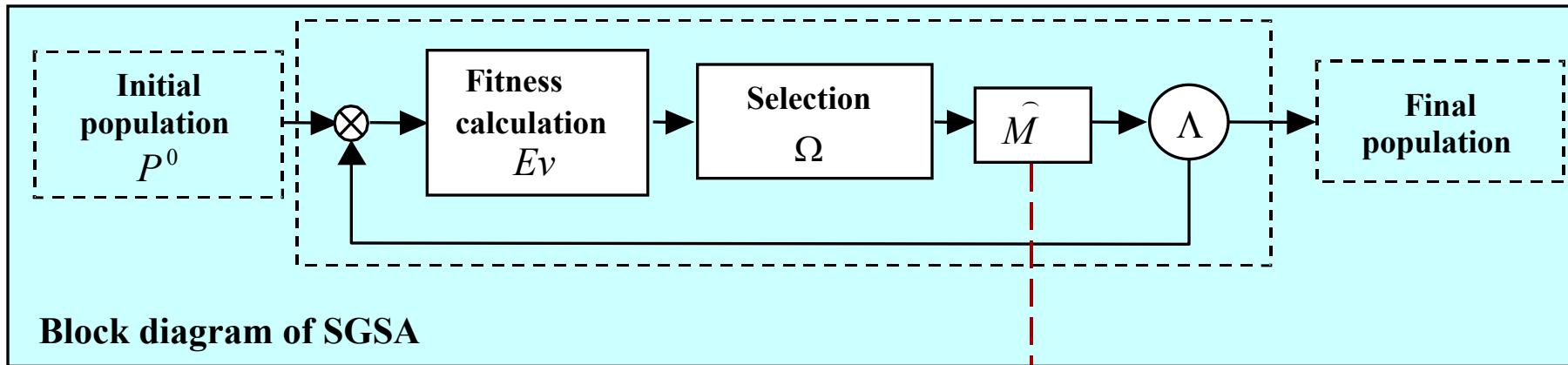
Quantum Genetic Search Algorithm

The formal general structure of QGSA

$$QGSA = \left\{ C, Ev, P^0, L, [\Omega, \chi, \mu]_{GA-operators}, [Sup, Ent, Int]_{QA-operators}, \boxed{\Lambda} \right\}$$

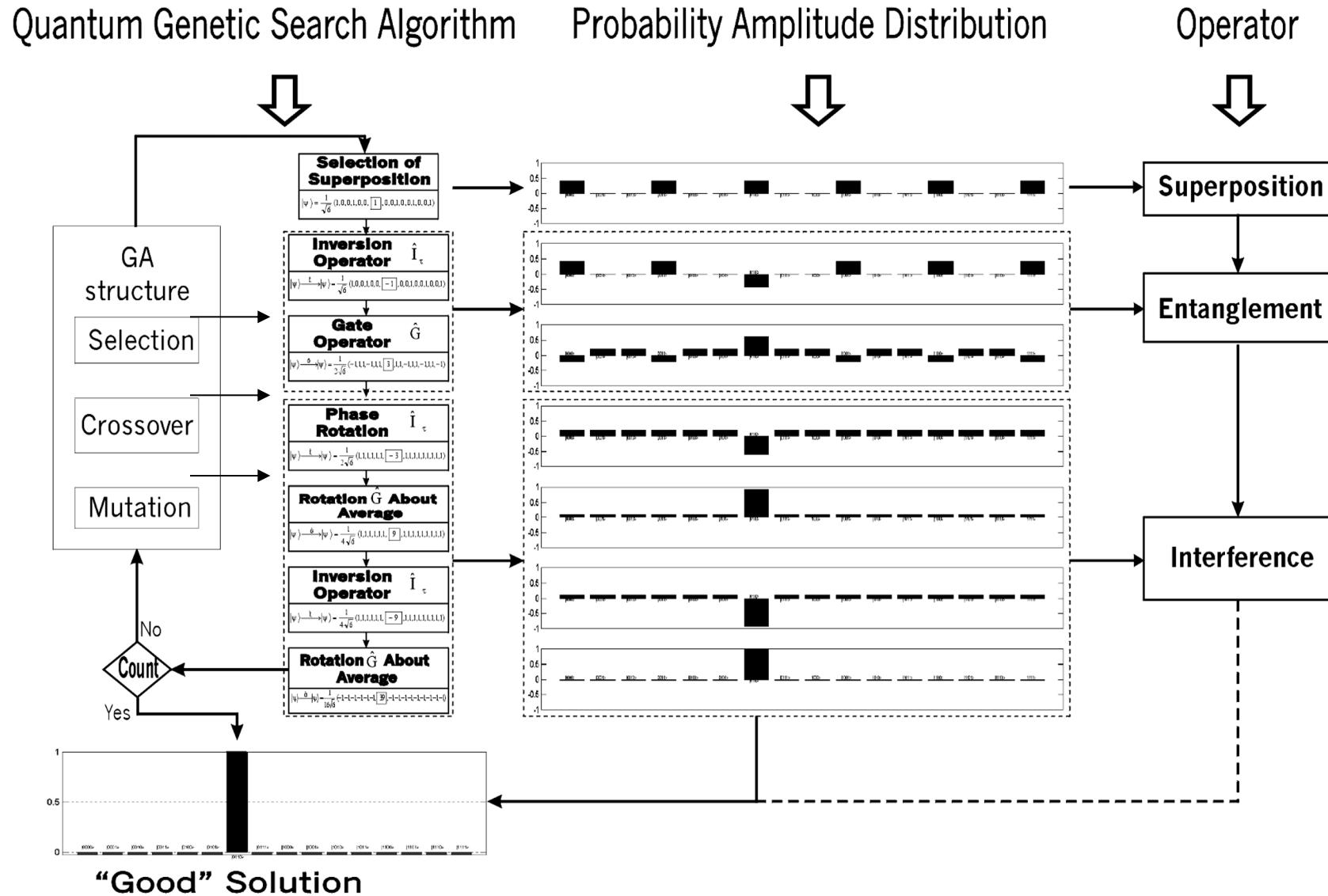
where **C** is the genetic coding scheme of individuals for a given problem; **Ev** is the evaluation function to compute the fitness values of individuals; **P⁰** is the initial population; **L** is the size of population; **Ω** is the selection operator; **χ** is the crossover operator; **μ** is the mutation operator; **Sup** is the quantum linear superposition operator; **Ent** is the quantum entanglement operator (quantum super-correlation); **Int** is the interference operator; **Λ** are termination conditions that include the stopping criteria as a minimum of Shannon/von Neumann entropy and the optimum of fitness functions. Logical combinations of operators of QGSA create different models of optimization algorithms.

Example: Gate for SGSA

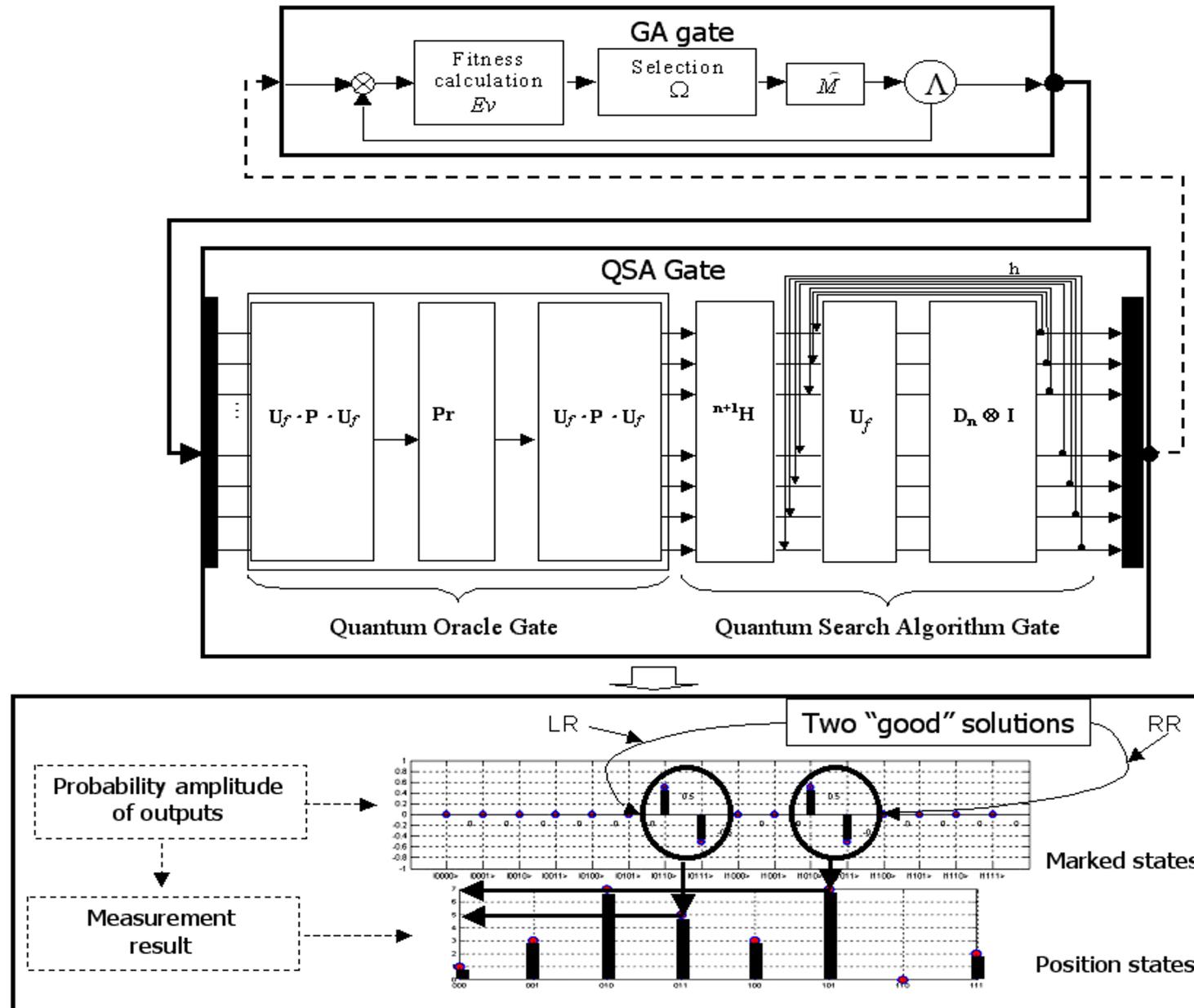


$$\hat{M} = \begin{pmatrix} 1 & \frac{1}{2}-\mu & \frac{1}{2}-\mu & \left(\frac{1}{2}-\mu\right)^2(2-\chi) \\ \frac{1}{2}-\mu & 0 & \left(\frac{1}{2}-\mu\right)^2\chi & 0 \\ \frac{1}{2}-\mu & \left(\frac{1}{2}-\mu\right)^2\chi & 0 & 0 \\ \left(\frac{1}{2}-\mu\right)^2(2-\chi) & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

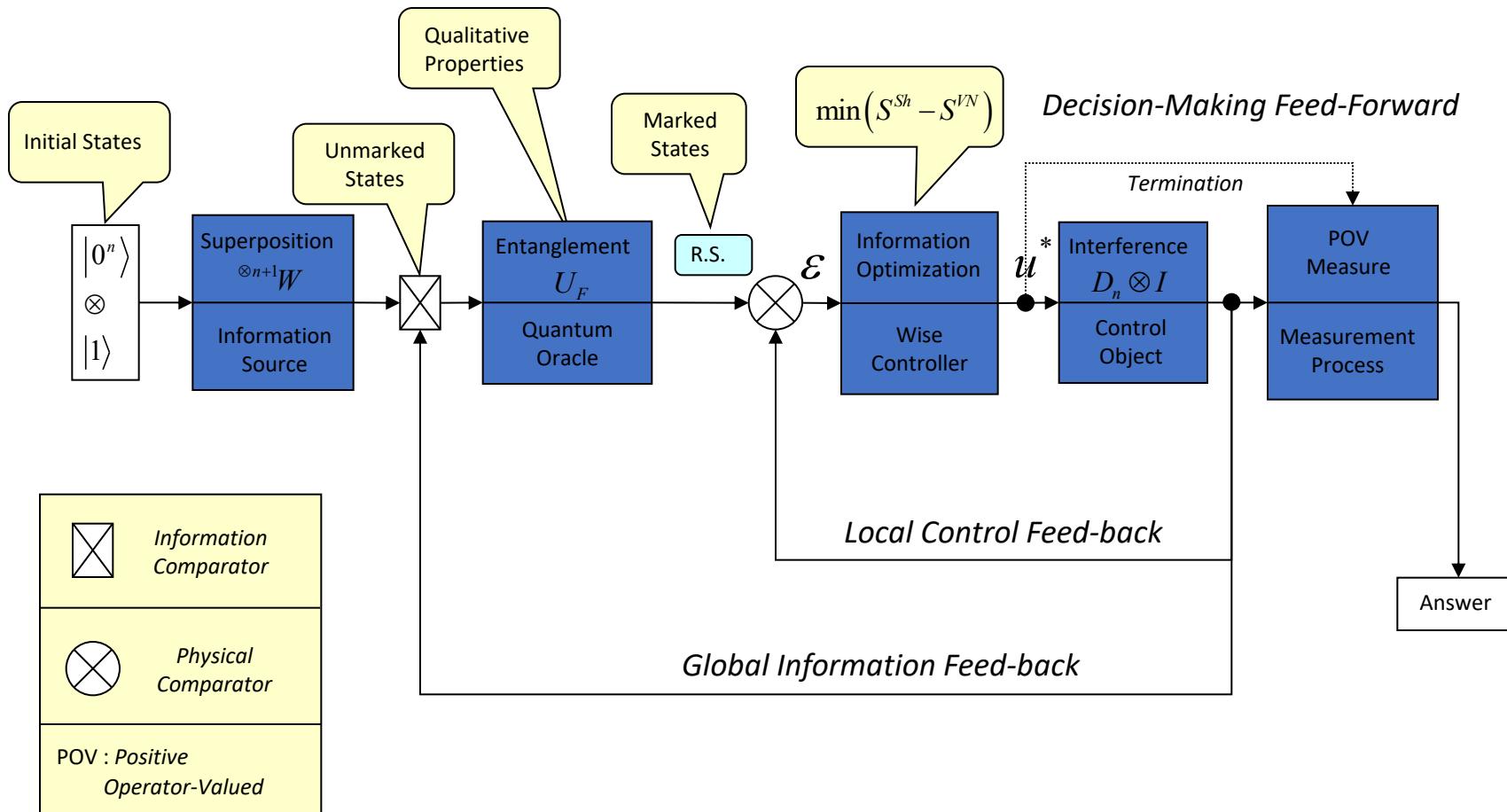
Example of Quantum Genetic Search Algorithm



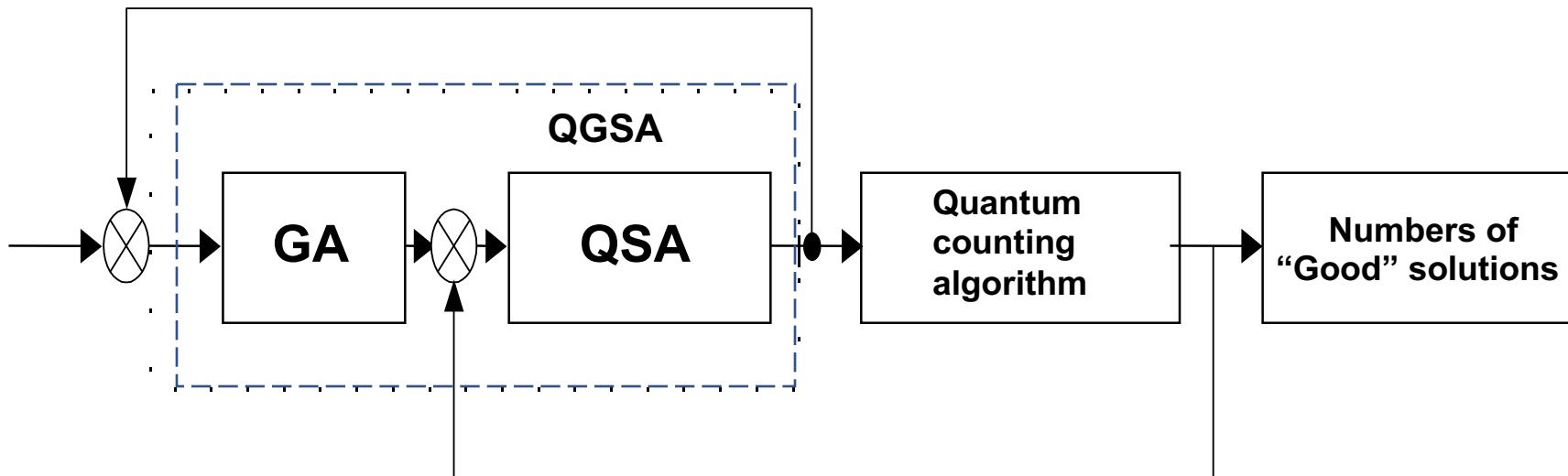
Gate Representation of Quantum Genetic Search Algorithm



QSA Intelligent Control System

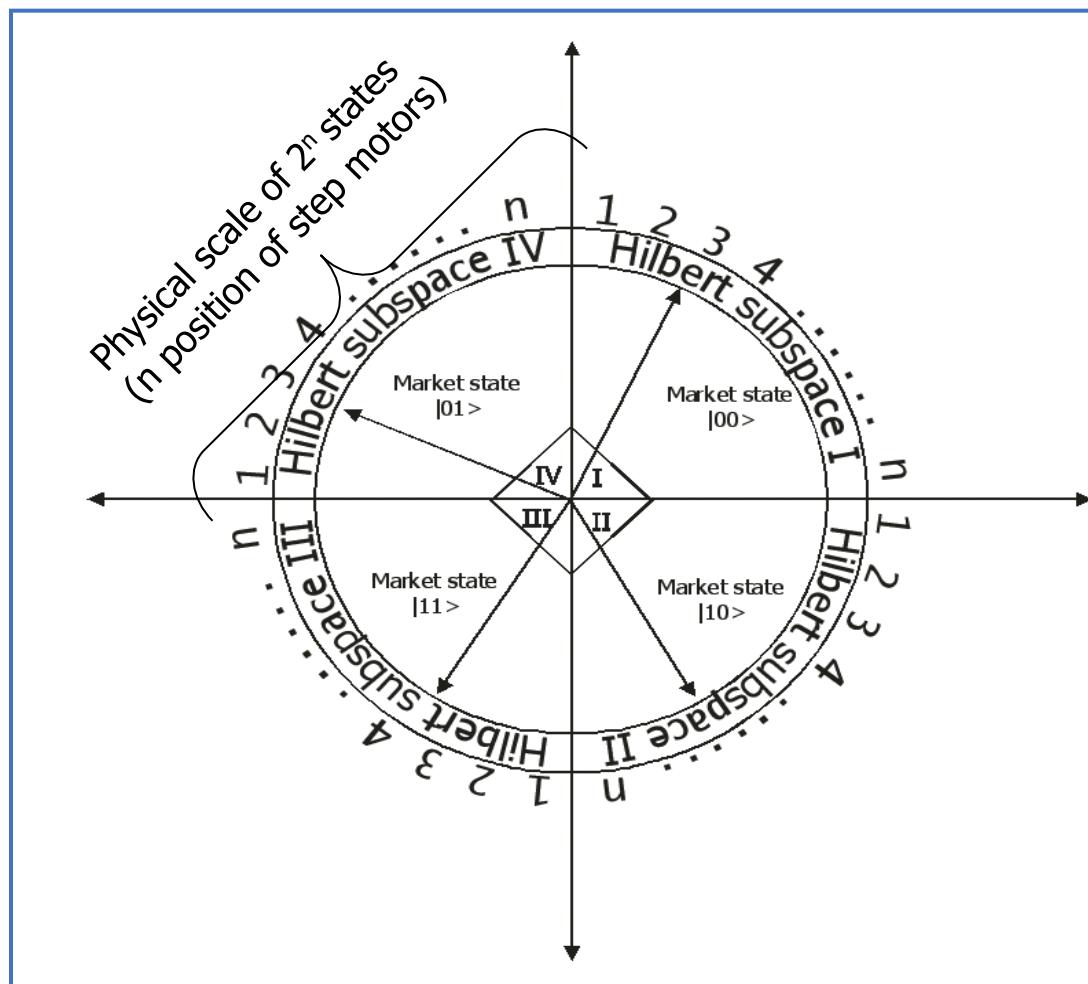


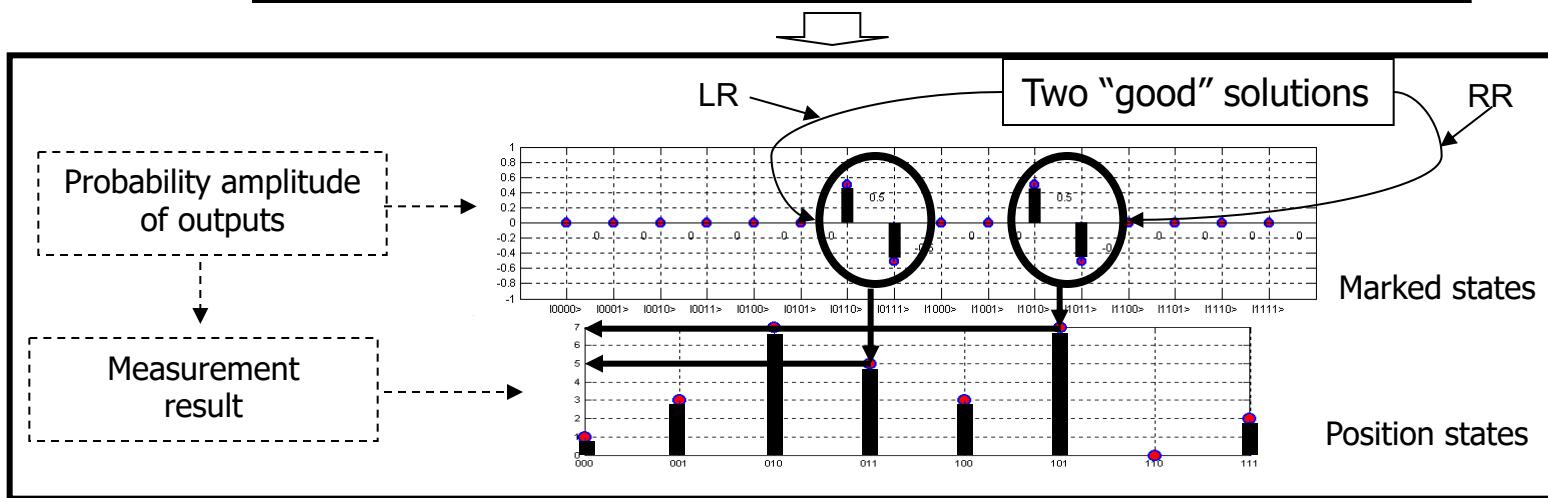
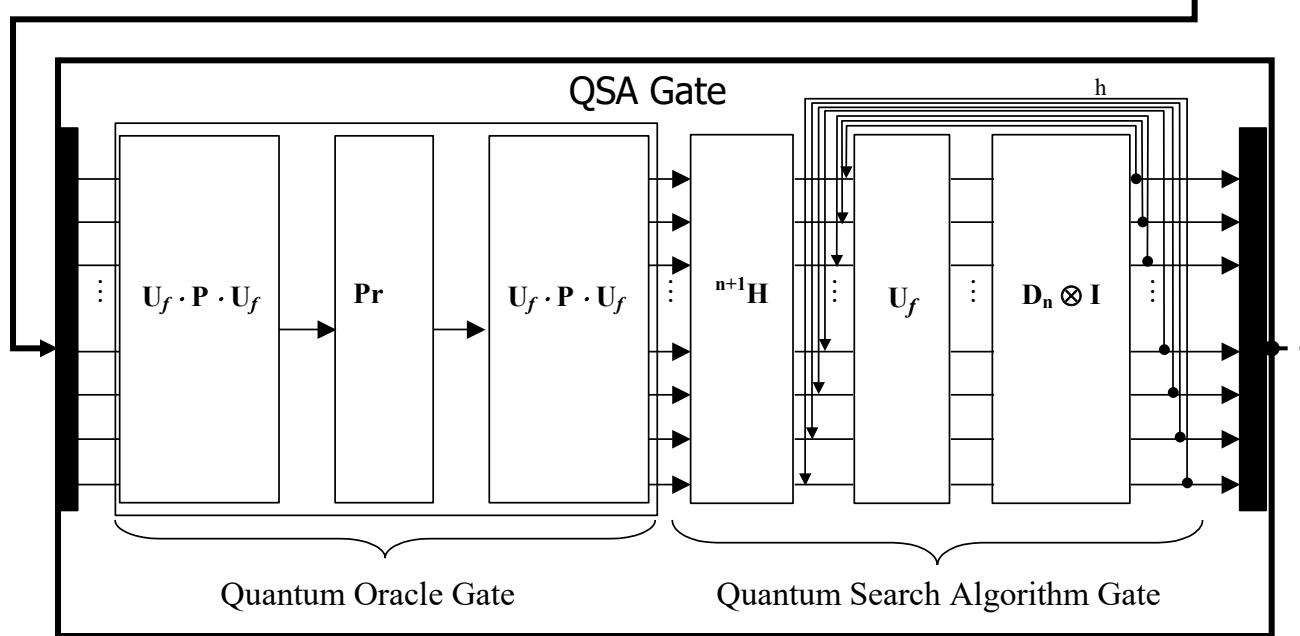
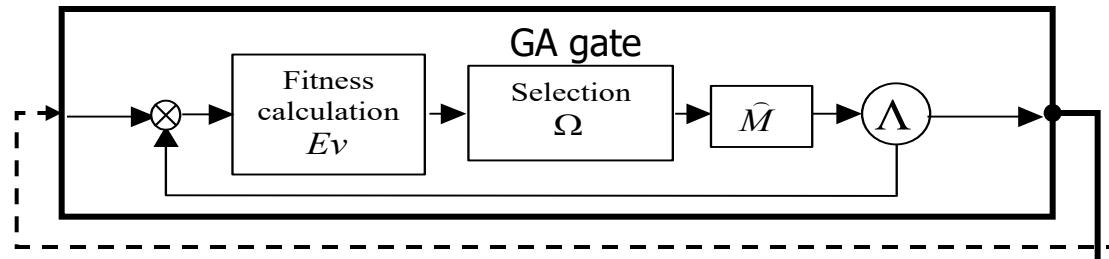
Generalized QGSA with counting of “good” solutions in look-up tables of fuzzy controllers



Evolution of Generalized Quantum Search Algorithm (QSA)

$$|\psi_{fin}\rangle = \underbrace{\left\{ \left[(D_n \otimes I) \cdot U_F \right]^h \cdot \left({}^{n+1}H \right) \right\}}_{\text{Grover's QSA gate}} \cdot \underbrace{\left\{ \left(U_f \cdot P \cdot U_f \right) \cdot \text{Pr} \cdot \left(U_f \cdot P \cdot U_f \right) \right\}}_{\text{New Oracle Gate}} H |\psi_0\rangle$$





Grover Search Algorithm Simulator v0.3
Type "Grover.exe h" for more help

Order? **1000**

X? **1000000**

Number of iterations? **100000000**

Superposition: 0.000 sec

Entanglement: 14.652 sec

Interference: 81.478 sec

Total time: **96.130 sec**

Answer: YES

**1000 qubit Grover's algorithm simulation
(2^{1000} elements in DB)**

**100 000 000
Iterations**

**In less than
2 minutes**