

---

# AI Methodologies for Future Airborne ISR Applications

---

**DEFENCE & SECURITY EQUIPMENT INTERNATIONAL**  
**DSEI 2019, London**

**AEW&C & ISR in the Near-Peer Threat Environment**

**Thursday, 12 September 2019, 1530-1630**

**Wolfgang Koch**

Prof. Dr. rer.nat., Fellow IEEE  
Fraunhofer FKIE, Wachtberg  
Head of Sensor Data Fusion

**Ongoing @FKIE on distributed multiple sensor networks  
on semi-autonomously co-operating unmanned air and  
ground vehicles for enhanced situational awareness.**



**Ongoing @FKIE on distributed multiple sensor networks  
on semi-autonomously co-operating unmanned air and  
ground vehicles for enhanced situational awareness.**

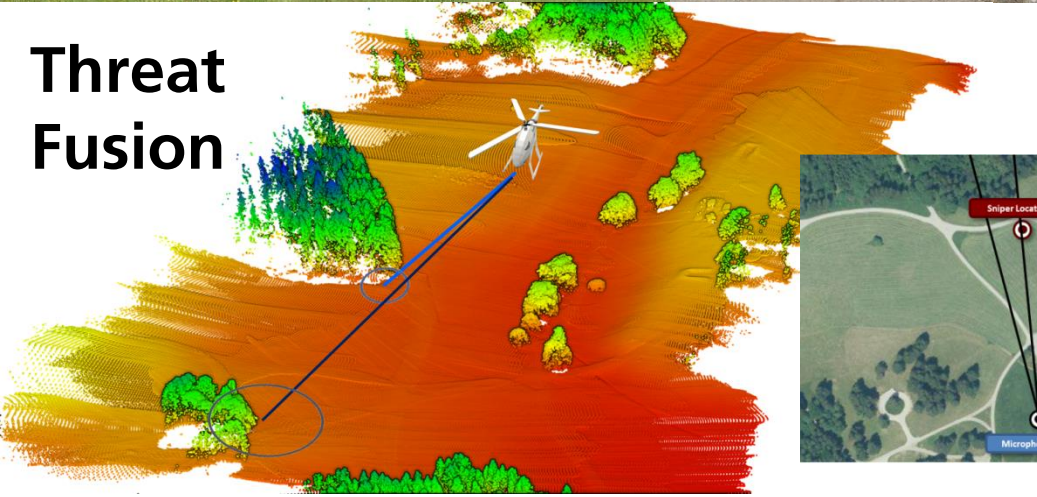




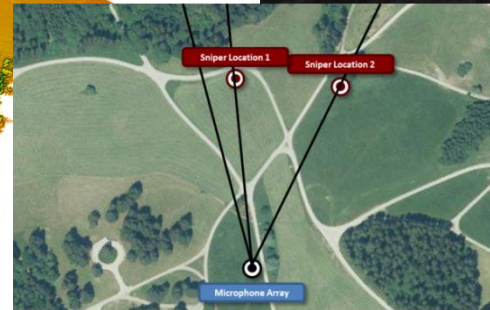
UAV AMOS-X6 with EO/IR camera payload.

Soldiers line up for a patrol mission with an UGV moving in front as advance guard.

# Threat Fusion

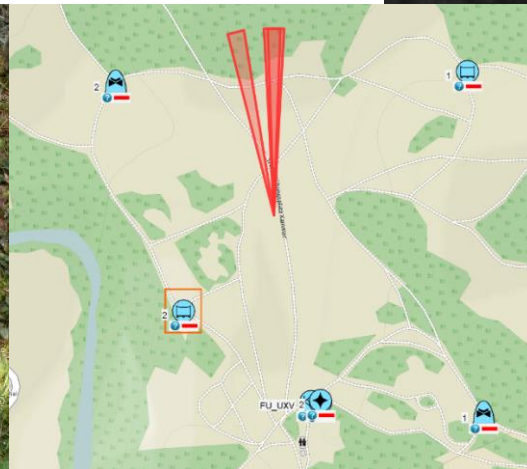


Tracking in an infrared video from an airborne platform.



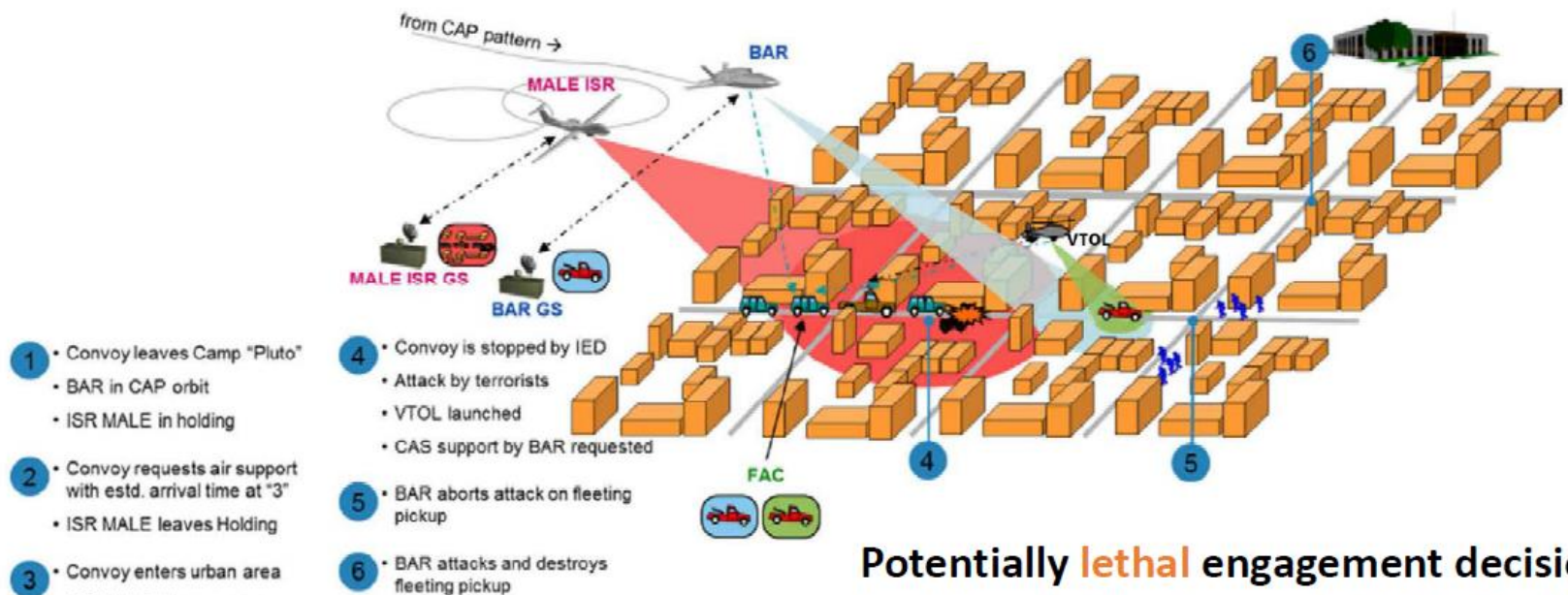
Bearing angle measurements for gunshots.

Ellipses are used to compensate for localizing errors in track fusion. The size of a ellipse increases with distance from detection to UAV.



Soldiers command an unmanned system to reconnaissance an area.

# Urban Close Air Support by ISR-MALE, UCAV, VTOL

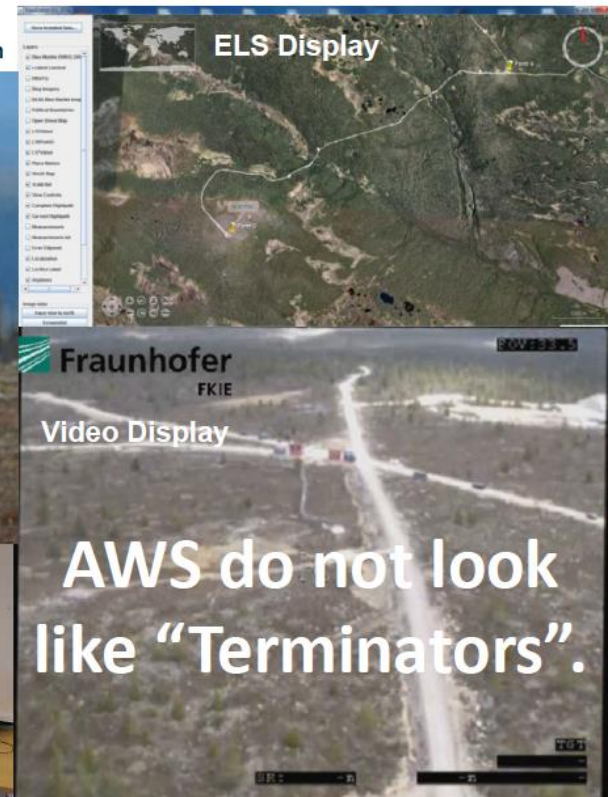


Potentially **lethal** engagement decision to be taken by the Forward Air Controller FAC

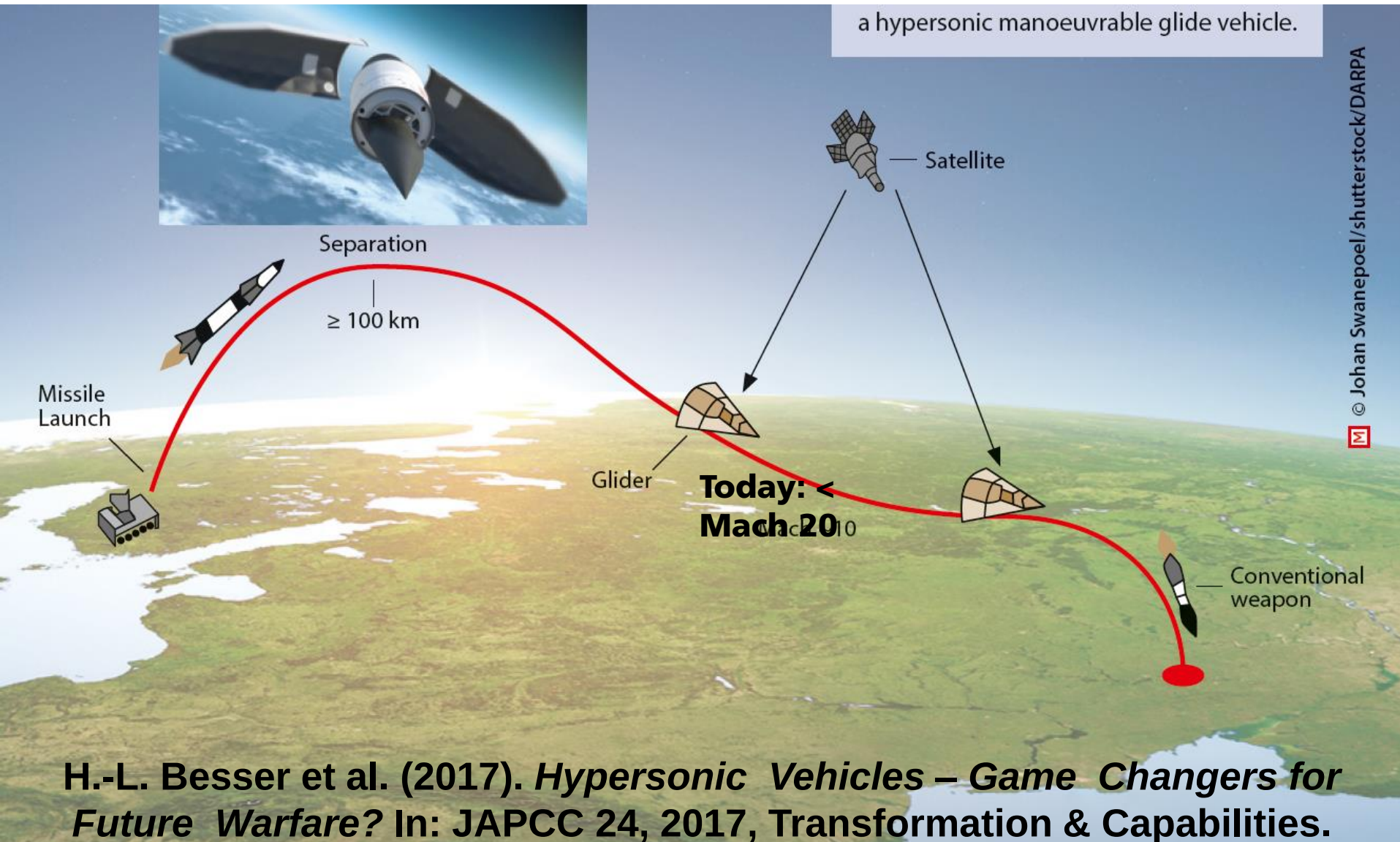
## Urban CAS experiment: **coordinated multiple UAV** for FAC – several degrees of autonomy.



GCS, Multisensor Payload, AI / Fusion



# Just to mention a UCAV threat of a peculiar kind: Hypersonic Maneuvering Glide Vehicles (HGV)



responsible persons

FCAS



**Future Combat Air System - FCAS. 13.7.2017: Letter of Intent, 6.2.2019: Contract for a Joint Concept Study.**

MGCS



goals, environment

**19. 6. 2018: DEU – FRA  
Letter of Intent for de-  
veloping *Main Ground  
Combat System - MGCS.***



responsible persons

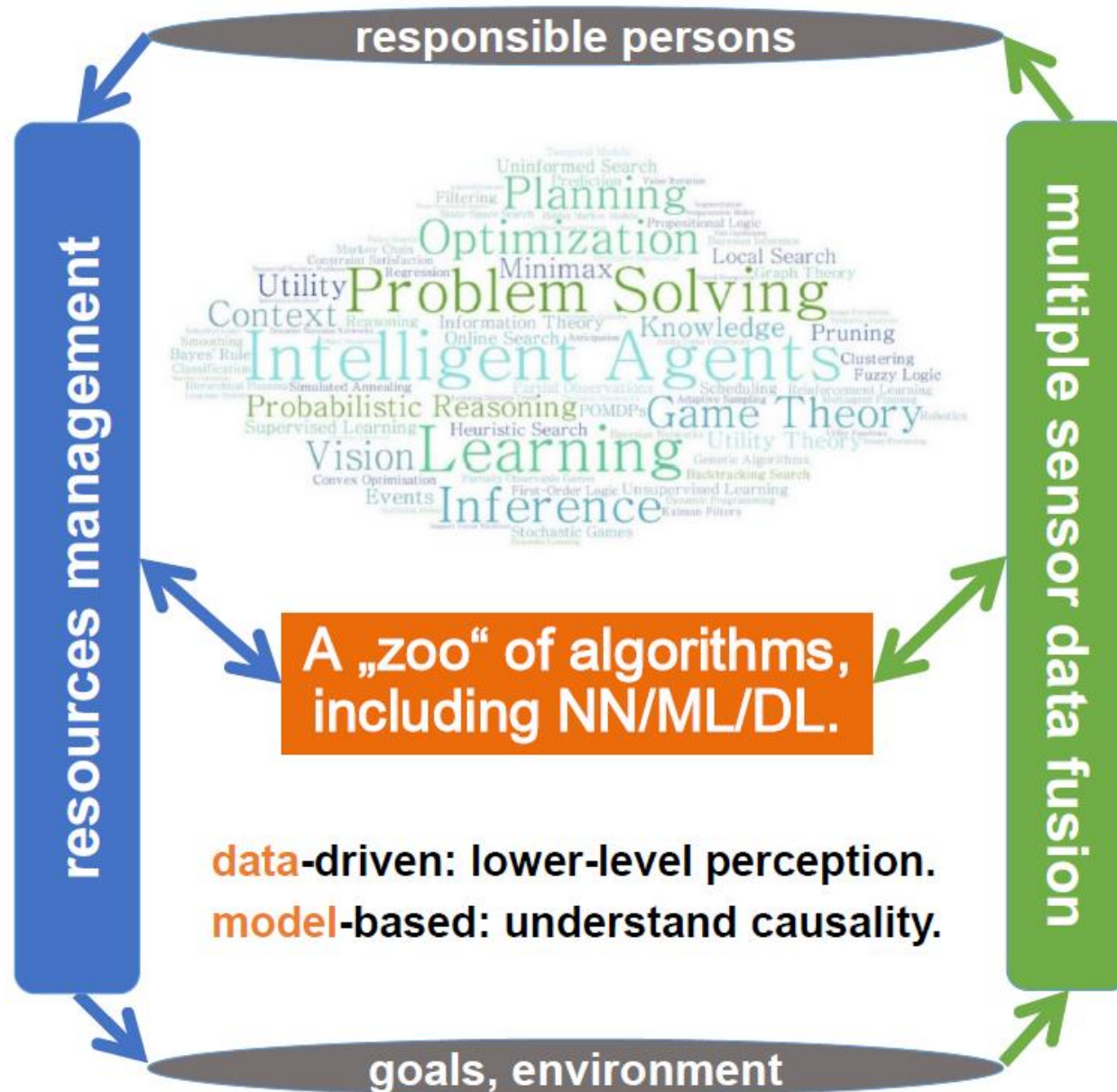
p  
e  
r  
c  
i  
e  
v  
e  
  
a  
c  
t

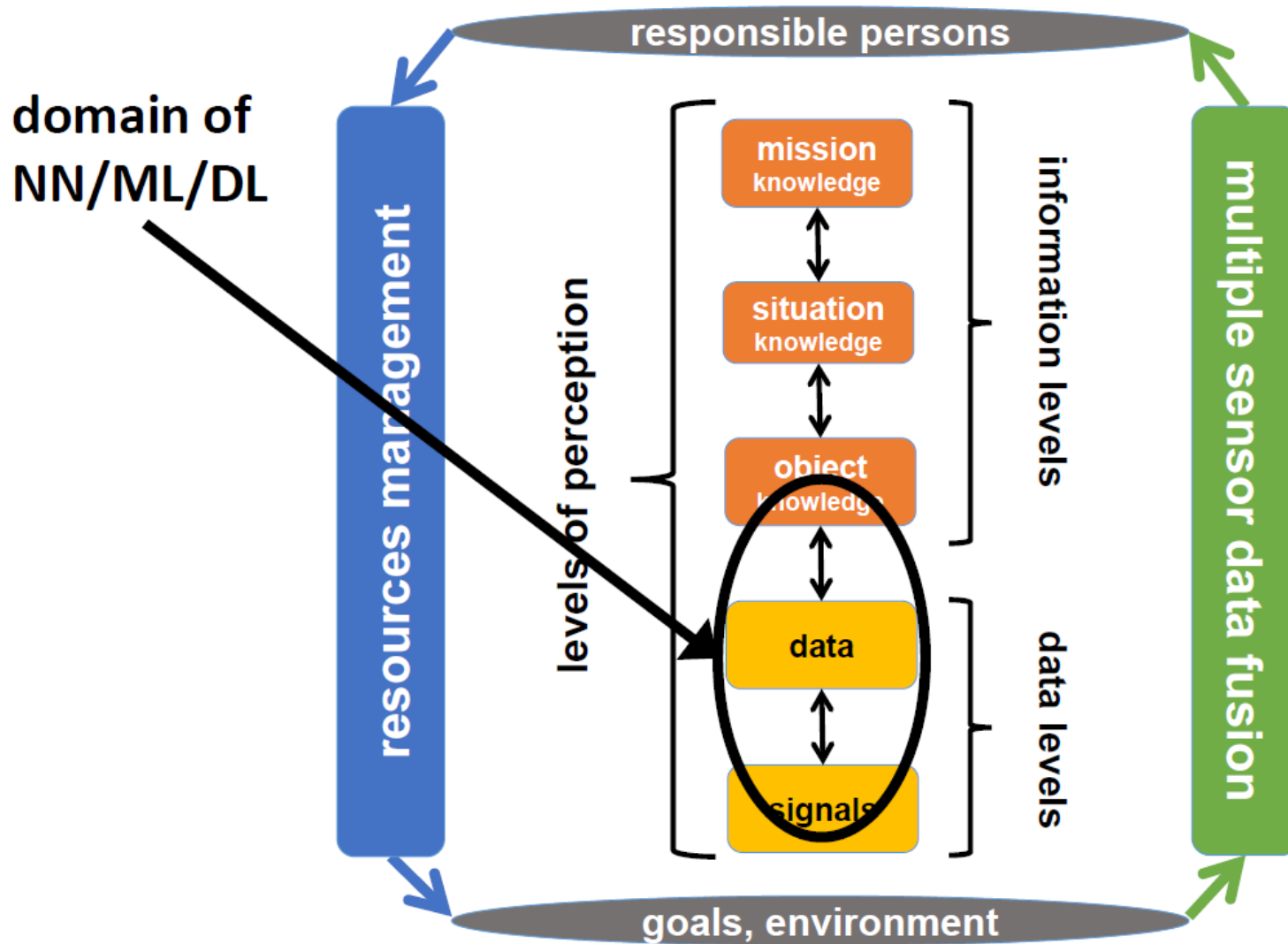
Artificially intelligent &  
technically autonomous  
systems that assist  
intelligent perception  
& autonomous action.

It is “something”  
for “somebody”.

It comprises much more  
than recent progress in  
neural networks and deep  
or machine learning –  
*and is perhaps not so very  
“disruptive” after all ...*

goals, environment





# AI-assisted Perception for Military Action

Need for **logical** and **reliable** cognitive tools that

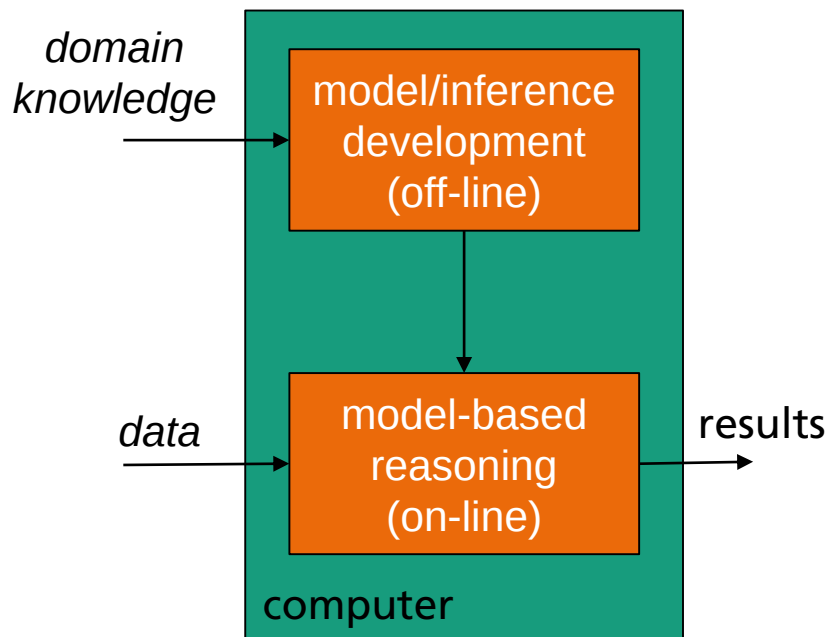
- exploit **large sensor data streams**,
- make **context information** accessible,
- use of the **heterogeneous sensors**,
- check **plausibility of sensor information**,
- suggest **options to act properly**,
- help respecting **constraints of action**,
- adapt to the **intention of the user**, ...

in general: **unburden humans** from routine and mass task to let them do **what only humans can do** – acting responsibly.

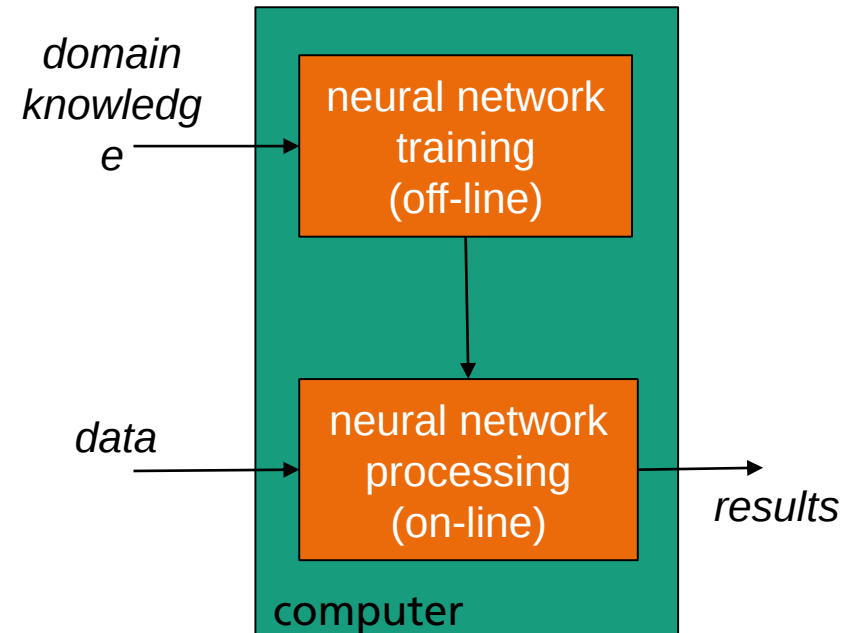
---

# Robust AI for Robust Systems-of-Systems

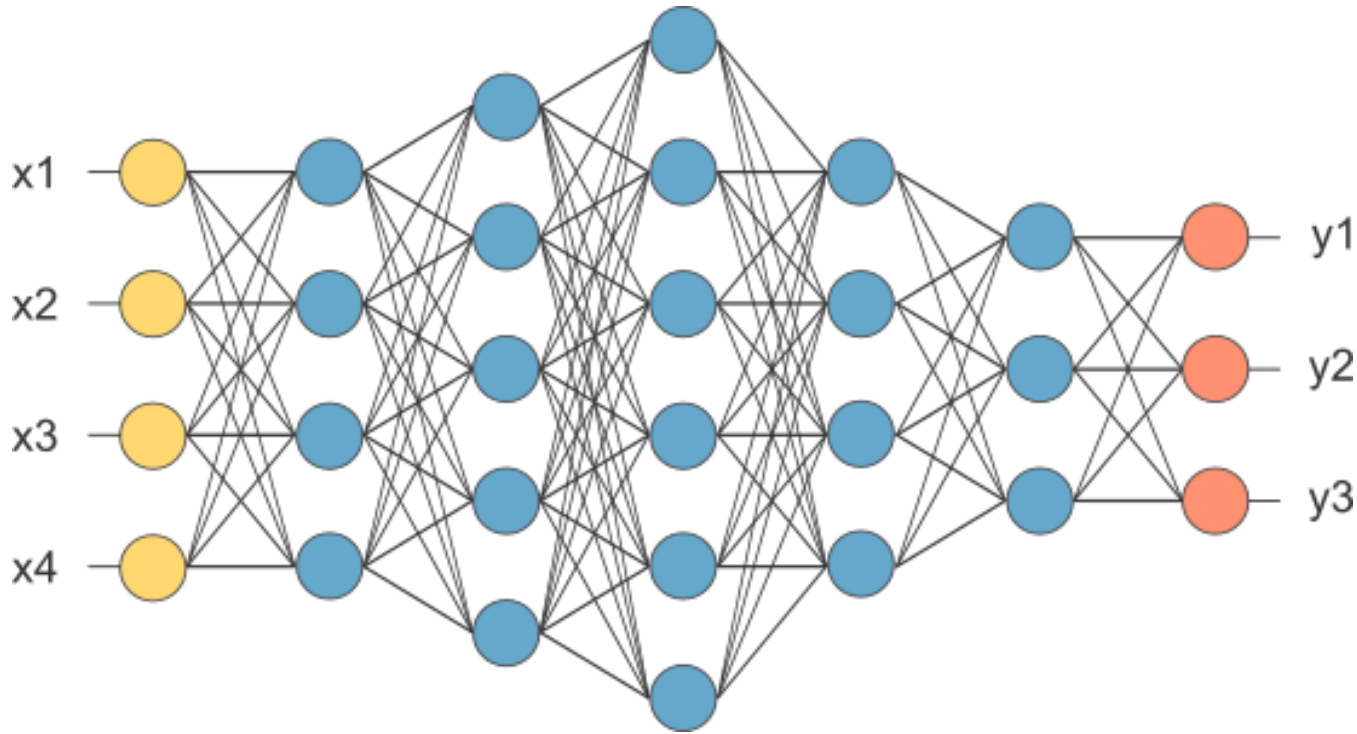
- \* Models, whenever available and for causal *reasoning* usable.
- \* NNs, when modeling is too complex and data available (!).



- domain knowledge: explicitly
- probable causal structures
- transparent data fusion, mgmt.



- Domain knowledge: via data
- Train NNs by data!
- black-box processing



**A function  $f$  maps a value  $x$  (e.g. a photo) onto a value  $y = f(x)$  (person).**

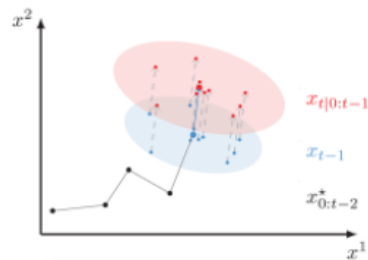
Neural network: a function with extremely many freely tunable parameters.

Training: Tune by labeled images” (natural intelligence!) these parameters.

Use phase: Apply the NN to arbitrary images. NNs approximate functions.

## SEQUENTIAL MONTE CARLO FILTERING WITH LONG SHORT-TERM MEMORY PREDICTION

Steffen Jung, Isabel Schlangen, Alexander Charlish



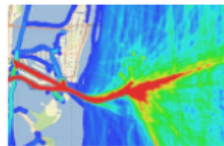
### Conclusion and outlook

#### The LSTM particle filter

- learns target motion based on data
- does not require a specific model
- performs better than standard SMC methods, especially with low  $p_d$
- has negligible overhead in online filtering

#### Further research

- experiments with real world data
- improved architecture for the neural network
- multiple models



**Classical:** only Markovian target evolution models seem practical.

→ unaware of “where from & to?”

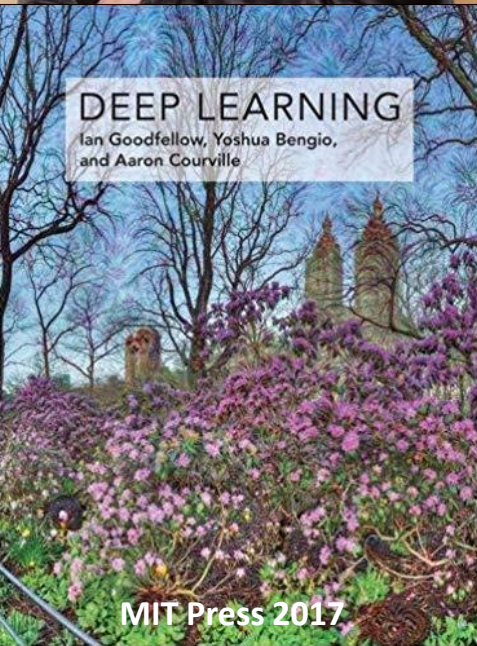
**Idea:** Use LSTM NNs to “learn”, how real world targets actually behave.

→ history- & intention-aware prediction within the Bayesian framework.

**Example:** maritime surveillance with harbours, routes, observation gaps.

Adds an element of “**induction**” into “**deductive**” probabilistic inference!

FUSION 2019, Ottawa



## “The Byzantine science of deceiving artificial intelligence.”



„panda“  
57.7% confidence

+ .007 ×



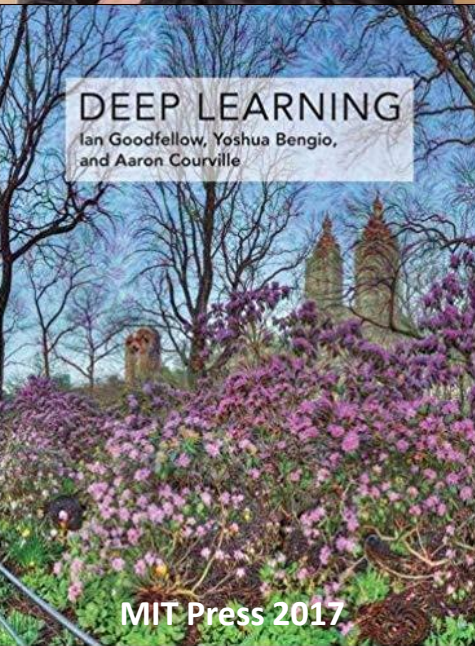
„poisonous noise“

=



“gibbon“  
99,3% confidence

I. Goodfellow, J. Shlens, and C. Szegedy, “Explaining and Harnessing Adversarial Examples,” Int. Conf. on Learning Representations, 2015.



## “The Byzantine science of deceiving artificial intelligence.”



„panda“

57.7% confidence

+ .007 ×



„poisonous noise“

=



“gibbon“

99,3% confidence

I. Goodfellow, J. Shlens, and C. Szegedy, “Explaining and Harnessing Adversarial Examples,” Int. Conf. on Learning Representations, 2015.



N. Papernot, I. Goodfellow, A. Swami, et al., “Practical Black-Box Attacks against Machine Learning”, 2017 ACM Conference on Computer and Communications Security.

**“It’s probably fairly easy for an adversary to fool us, to deceive us. Some of that may be benign, some of that may not be.”**

Ananthram Swami, US ARL, Fellow IEEE

**Counter AI → Counter-counter AI → ... → Counter” AI?**

# The critical questions WHAT? and WHY?

## Data driven: *Deep Learning*

- **Boosting:** vast data, HW, market
- **training:** Enough military data?
- **deception:** adversarial examples
- **context:** learn along with data
- **correlation:** no “Tell me why?”

*meaningful human control:*  
assistance, NOT autonomy!

**critical:** Lethal AWS for persons

- target designation
- engagement decision

# The critical questions WHAT? and WHY?

## Data driven: *Deep Learning*

- **Boosting:** vast data, HW, market
- **training:** Enough military data?
- **deception:** adversarial examples
- **context:** learn along with data
- **correlation:** no “Tell me why?”

## Model based: *Bayes Reasoning*

- “uncertain” **logical reasoning**
- probable cause-effect chains
- **systematic** algorithm design
- **context-/expert** knowledge

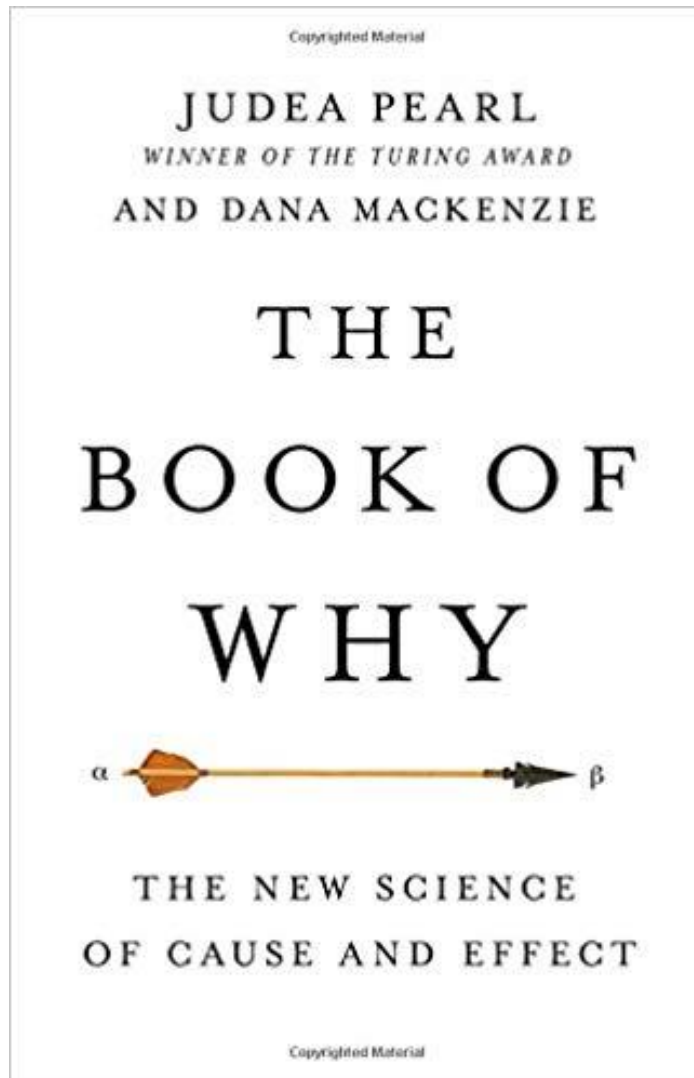
topical research, NOT yet solved:  
*Explainable Artificial Intelligence*

## Bayesian Deep Learning

- measures of reliability
- probabilistic methods
- integration of context
- scalability, big / sparse data
- robust systems engineering

The philosophical problem of the  
*qualia*: **What is it like?** (Thomas Nagel)

AI isn't “intelligent” – an overpromising name!



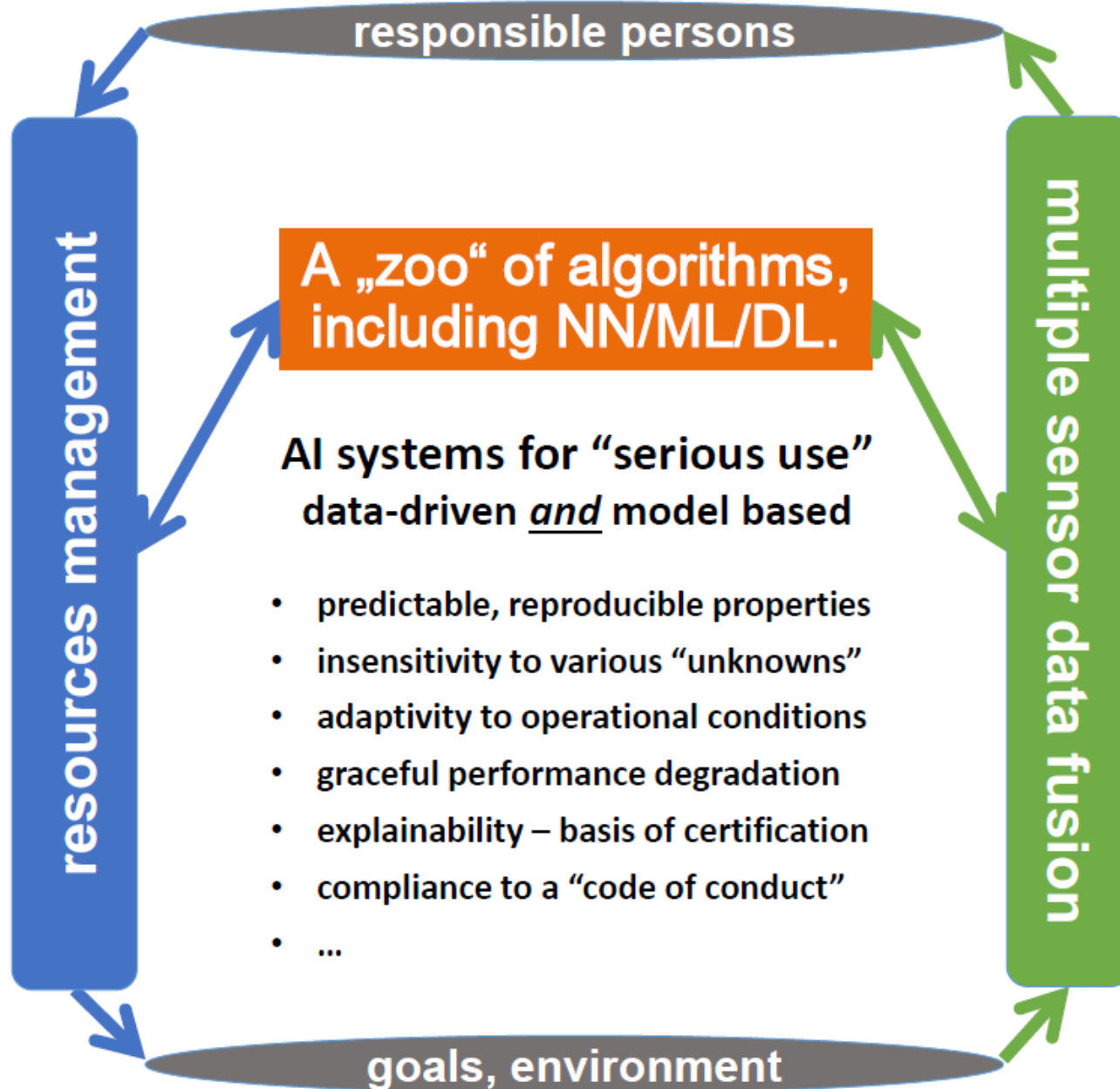
**2018**



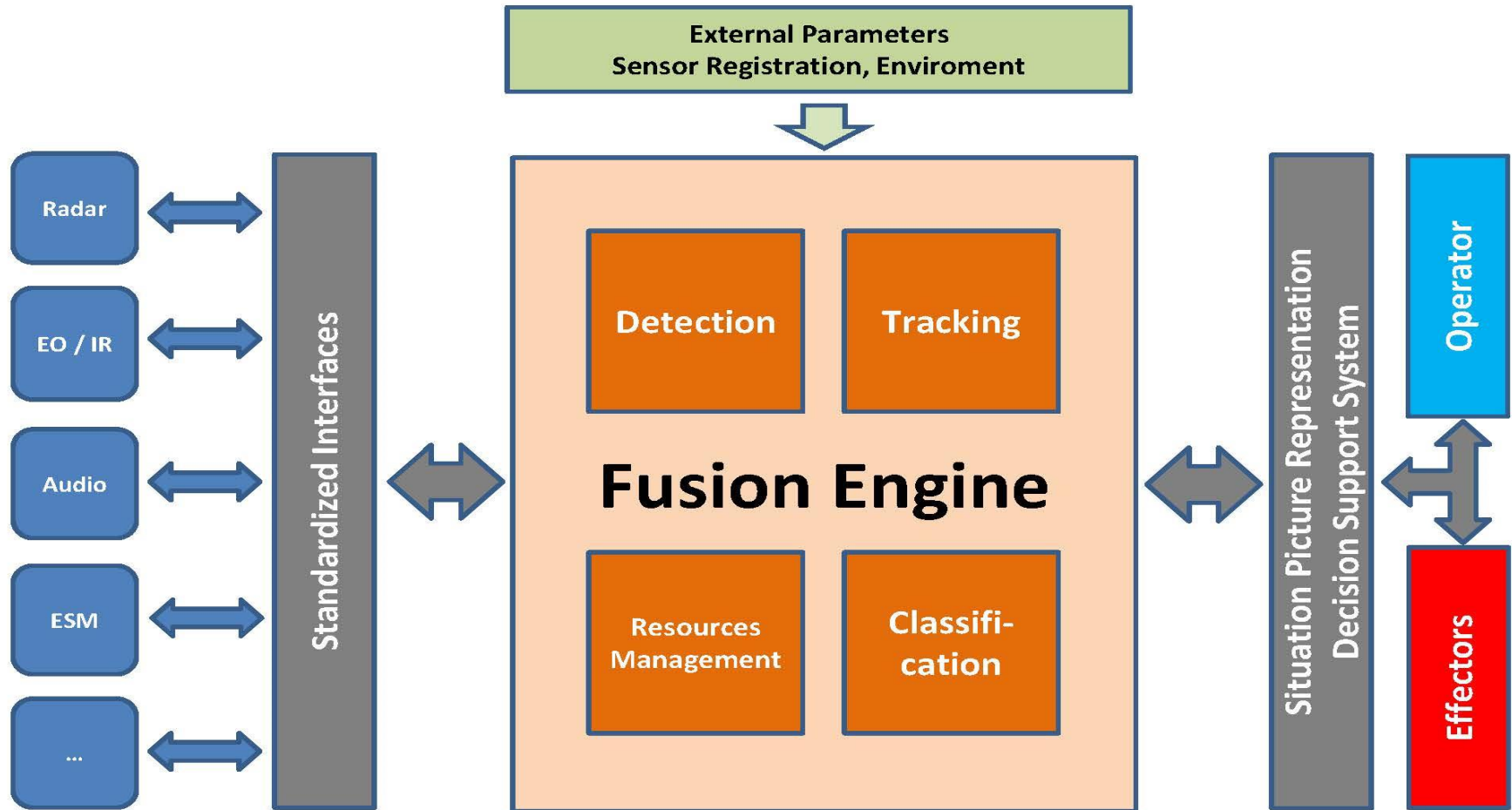
**Judea Pearl (\*1936)**

**Bayesian Networks**

**Fellow, IEEE  
Turing Award 2011**

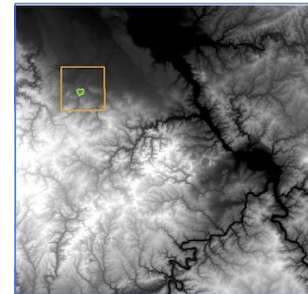
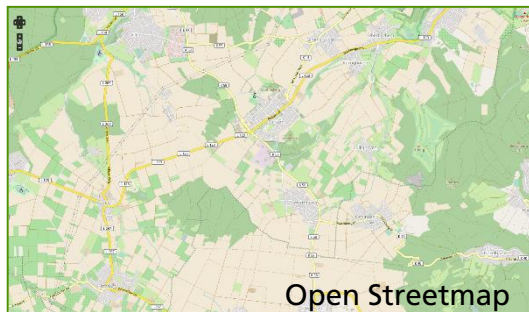
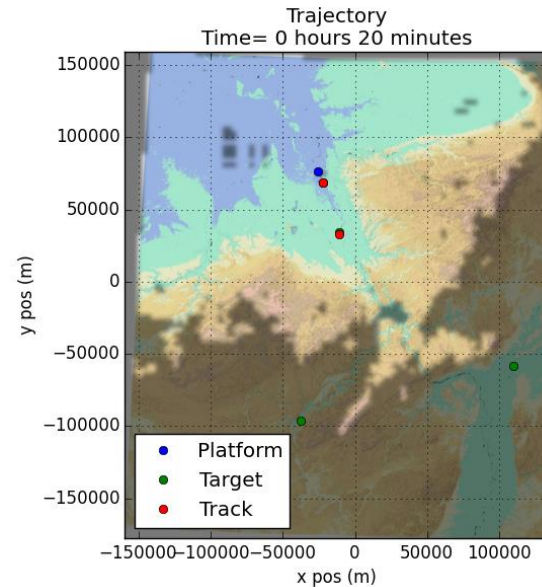


# *Fusion Engines* – Link between Sensors, Context, Action



# Example: context from GIS data

- **Intersection bearing with elevation model**  
=> 3D-Localization
- **Line of sight calculation**  
=> exclusion of target positions  
=> avoids track losses
- **Terrain slope**  
=> possibly exclusion of target positions
- **Road-maps**  
=> higher track accuracy and continuity



Digital elevation model



Tilt angle/  
max inclination

## Context-based GMTI

- Road maps
- Topography
- Refined modeling

target stops

target stops

low Doppler

terrain / Doppler occlusion

tunnel

road map



Single target moving on road



# Most Precious Context Information: Realistic Sensor Models

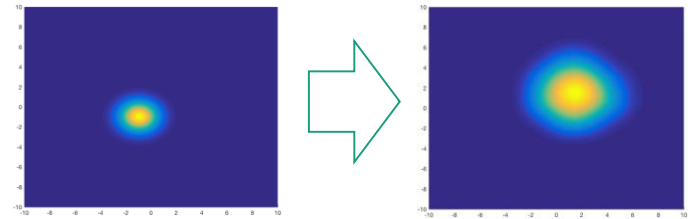
## Target Tracking using Tensor Representations

Numerical solution of the Bayesian recursion for strongly nonlinear systems

### ■ Prediction:

#### Fokker-Planck Equation (FPE)

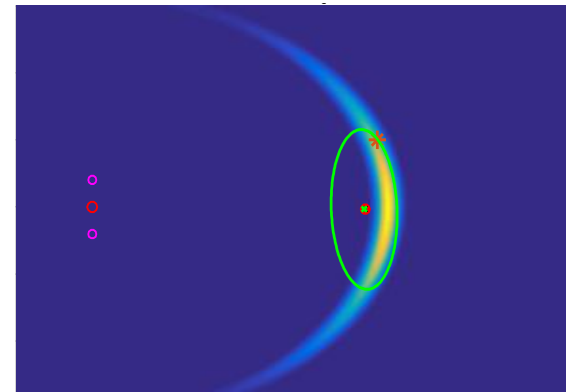
$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \sum_{i=1}^D \frac{\partial ([f]_i p)}{\partial x_i} + \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^D \frac{\partial^2 ([G Q G^T]_{i,j} p)}{\partial x_i \partial x_j}$$



### ■ Filtering:

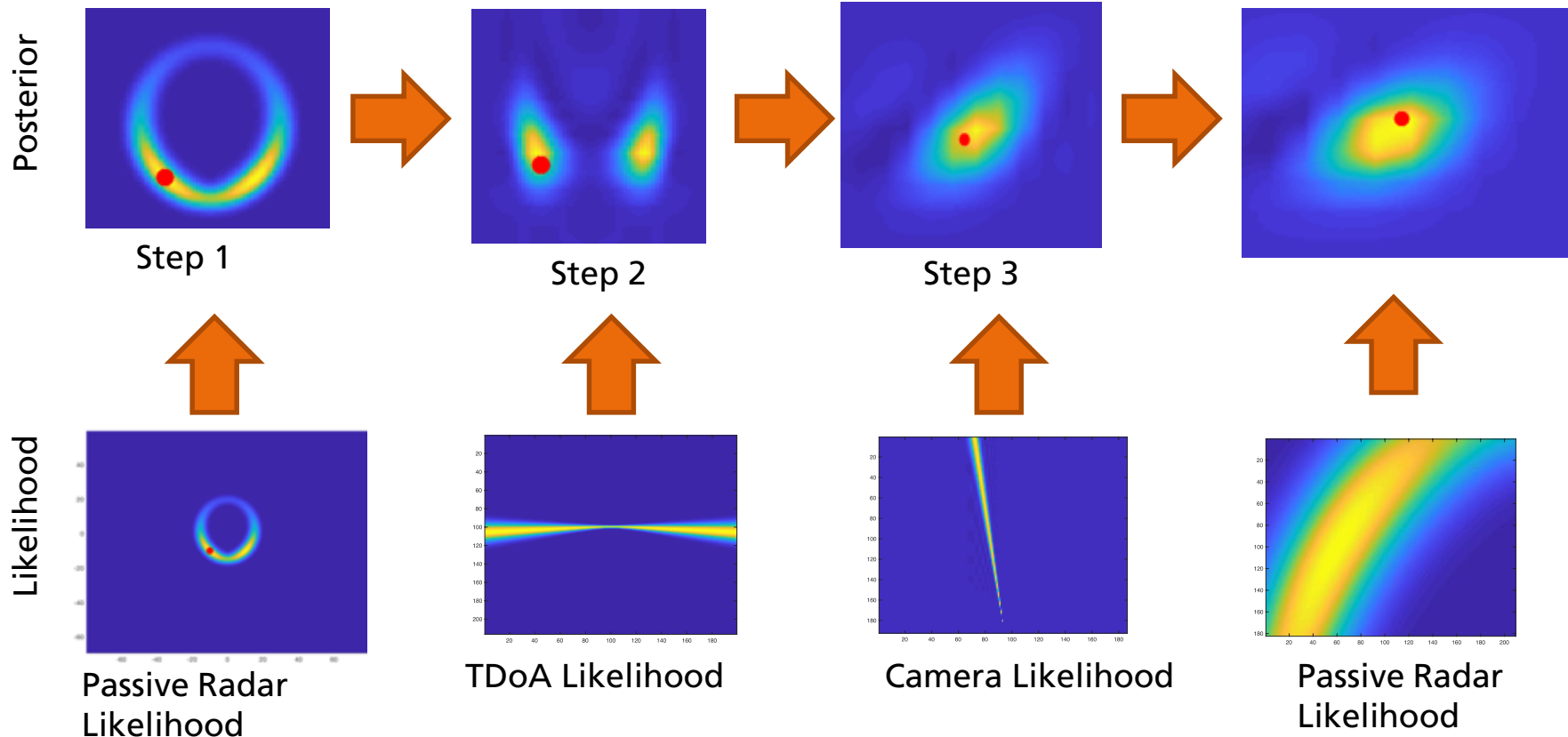
#### Bayes' Theorem

$$p(\mathbf{x}_k | \mathcal{Z}^k) = \frac{p(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_k) p(\mathbf{x}_k | \mathcal{Z}^{k-1})}{\int d\mathbf{x}_k p(\mathbf{z}_k | \mathbf{x}_k) p(\mathbf{x}_k | \mathcal{Z}^{k-1})}$$



# Real World Likelihood Functions for Advanced Sensing

Sensors: Passive Radar, TDoA, Camera / Accoustic

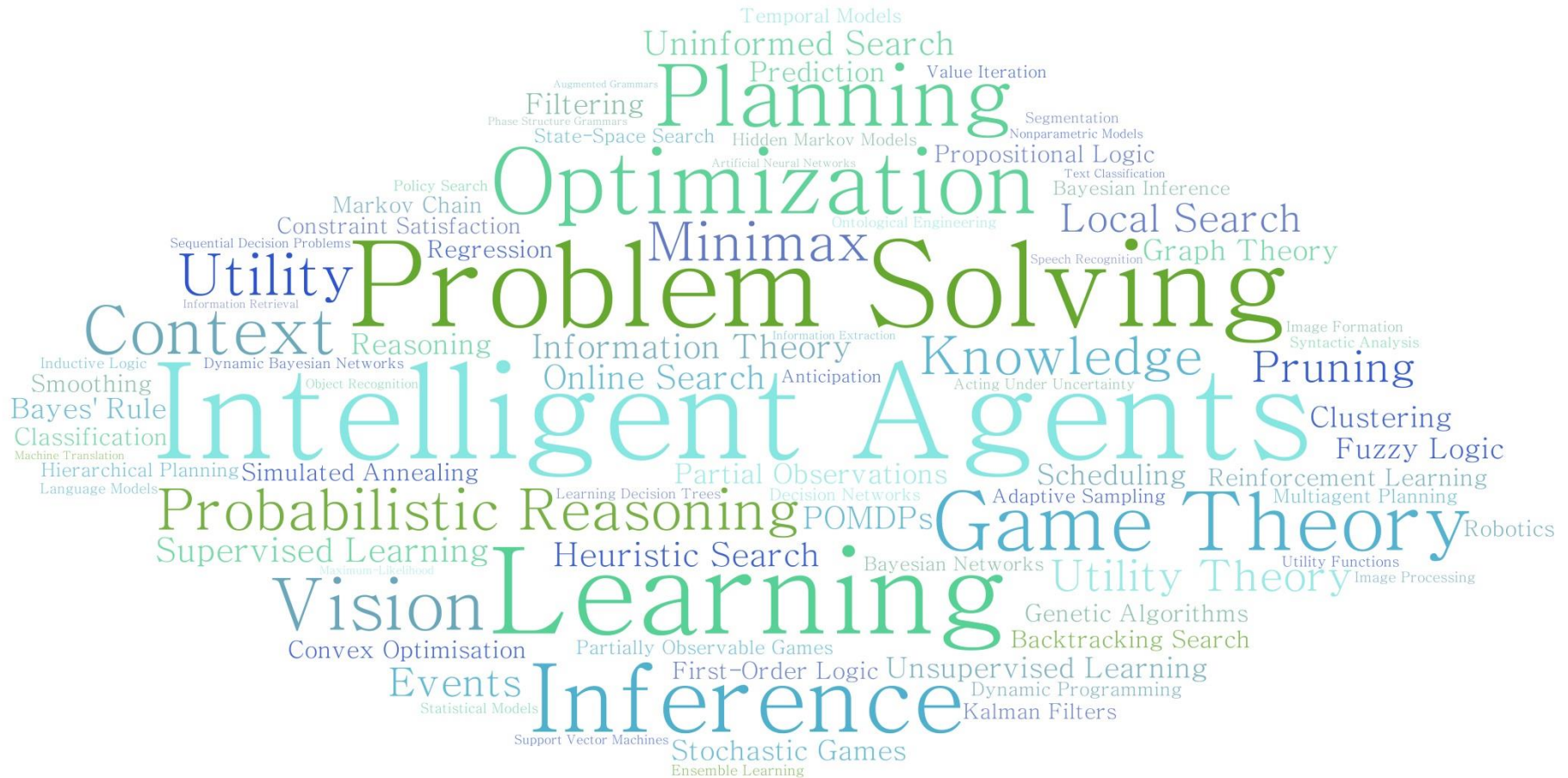


# **ASPECTS OF MILITARY DIGITALIZATION FOR AIRBORNE ISR**

---

# What are Artificial Intelligence and Technical Autonomy?

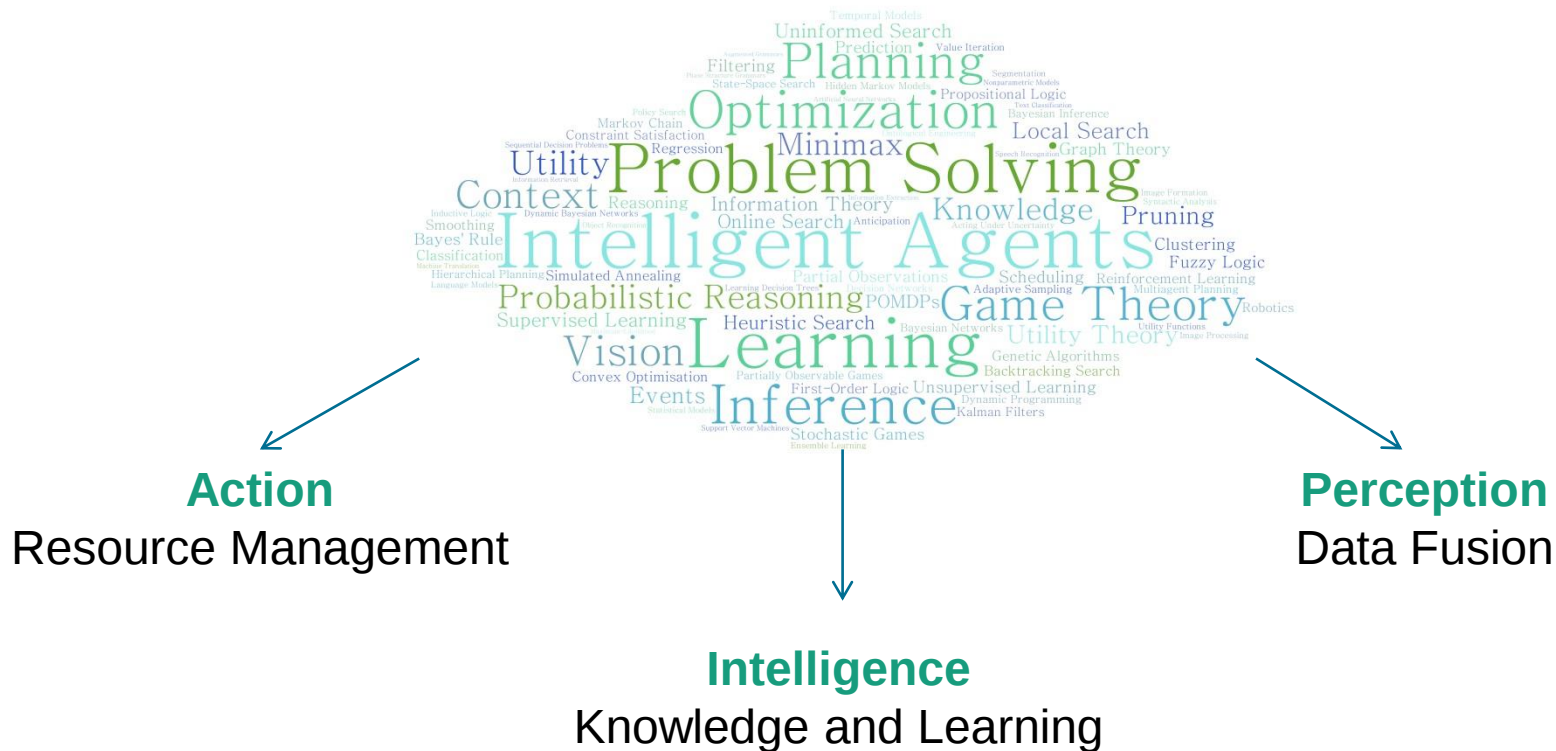
## A set of mathematical techniques for assisting perception and action



# “Artificial Intelligence” and “Technical Autonomy”

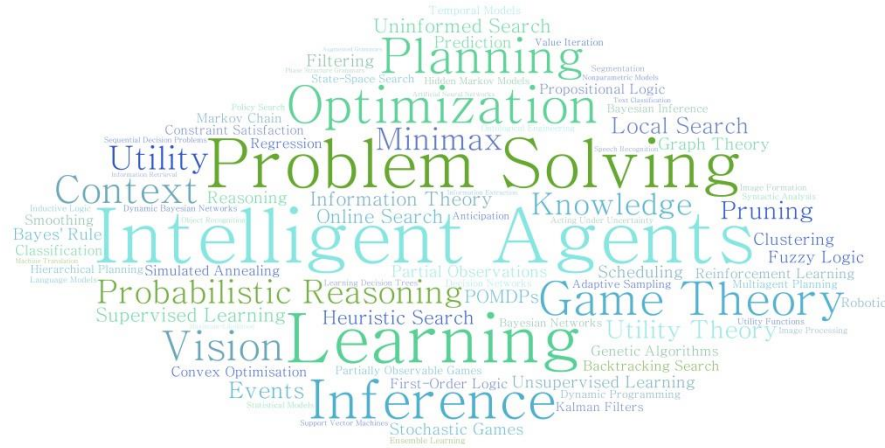
## Our Perspective of Digitalization

From the perspective of “Cognitive ISR Applications”, techniques can be split up:



# Artificial Intelligence and Technical Autonomy

## Our Perspective of Digitalization



## Action

## Basis for decision making

## Basis for data collection

## Perception

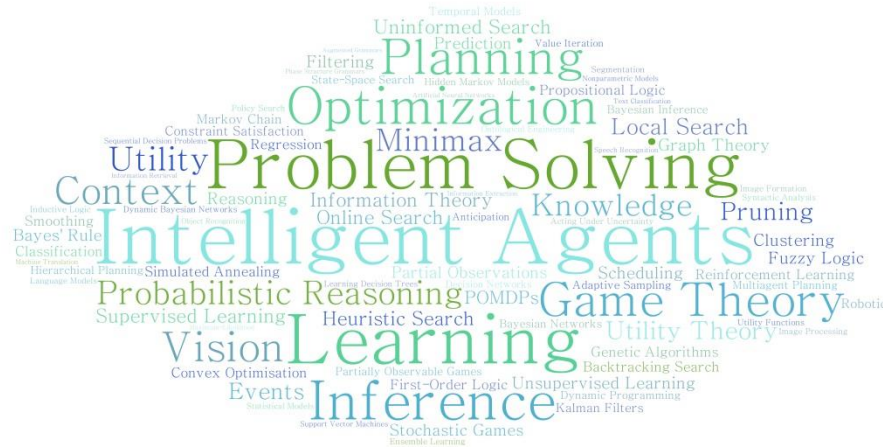
# Sensor Data Fusion

# Intelligence

# Knowledge and Learning

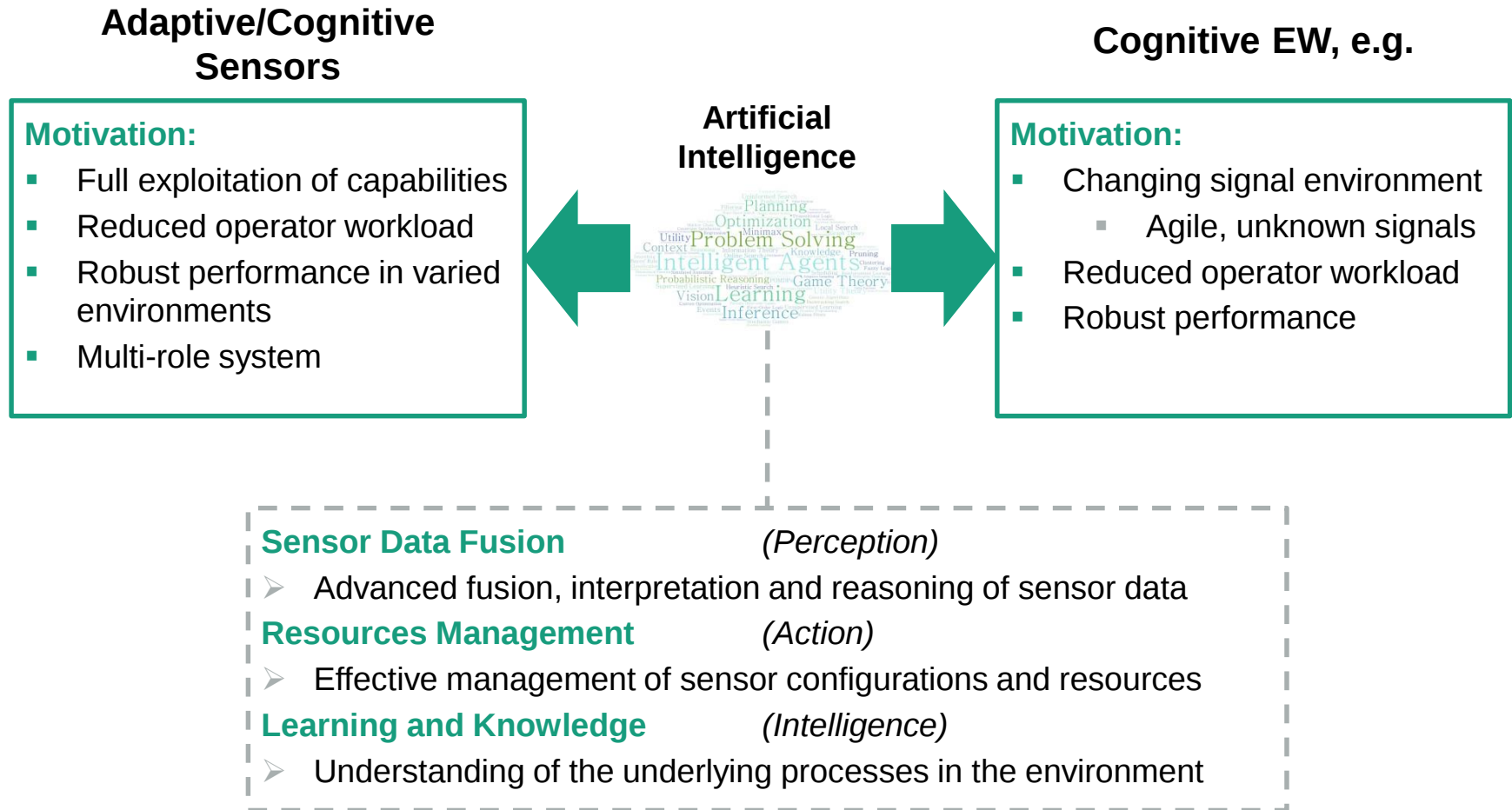
# Artificial Intelligence and Technical Autonomy

## Our Perspective of Digitalization



# Artificial Intelligence and Technical Autonomy

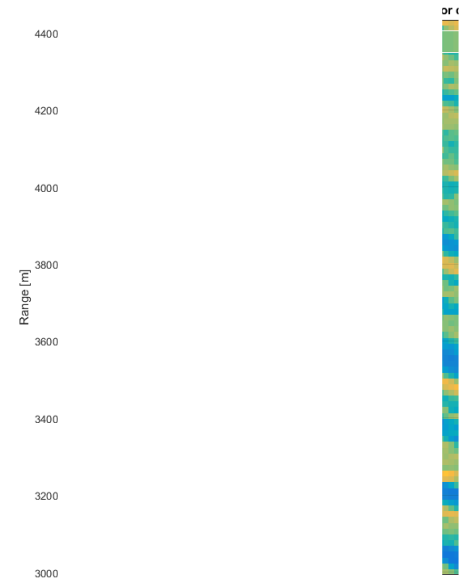
## Application Areas



Advanced fusion, interpretation and reasoning of sensor data:

# PERCEPTION

# Multi-Target Tracking In Complex Environments



*Sea Clutter Dataset*

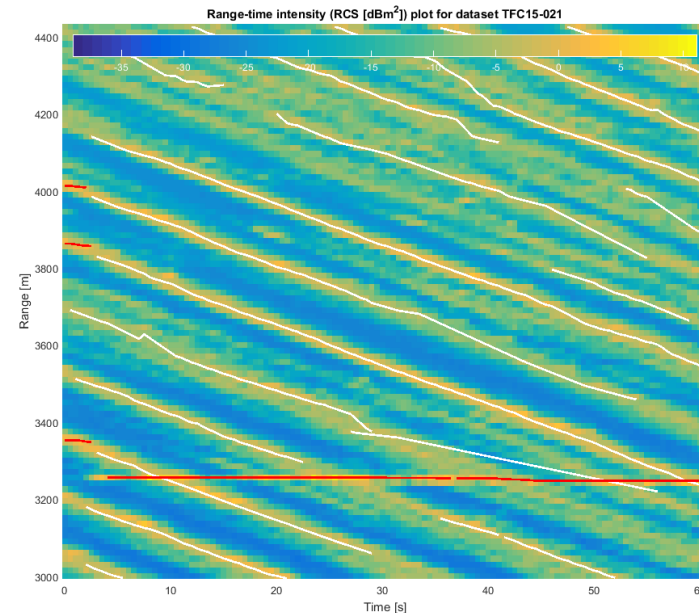
# Multi-Target Tracking In Complex Environments

Complex environments comprise:

- Multiple interacting objects of interest
- Environment full of similar clutter objects  
(*not of interest – but provides context!*)

## Necessary:

- Track multiple objects
- Understand/track the clutter environment



Sea Clutter Dataset

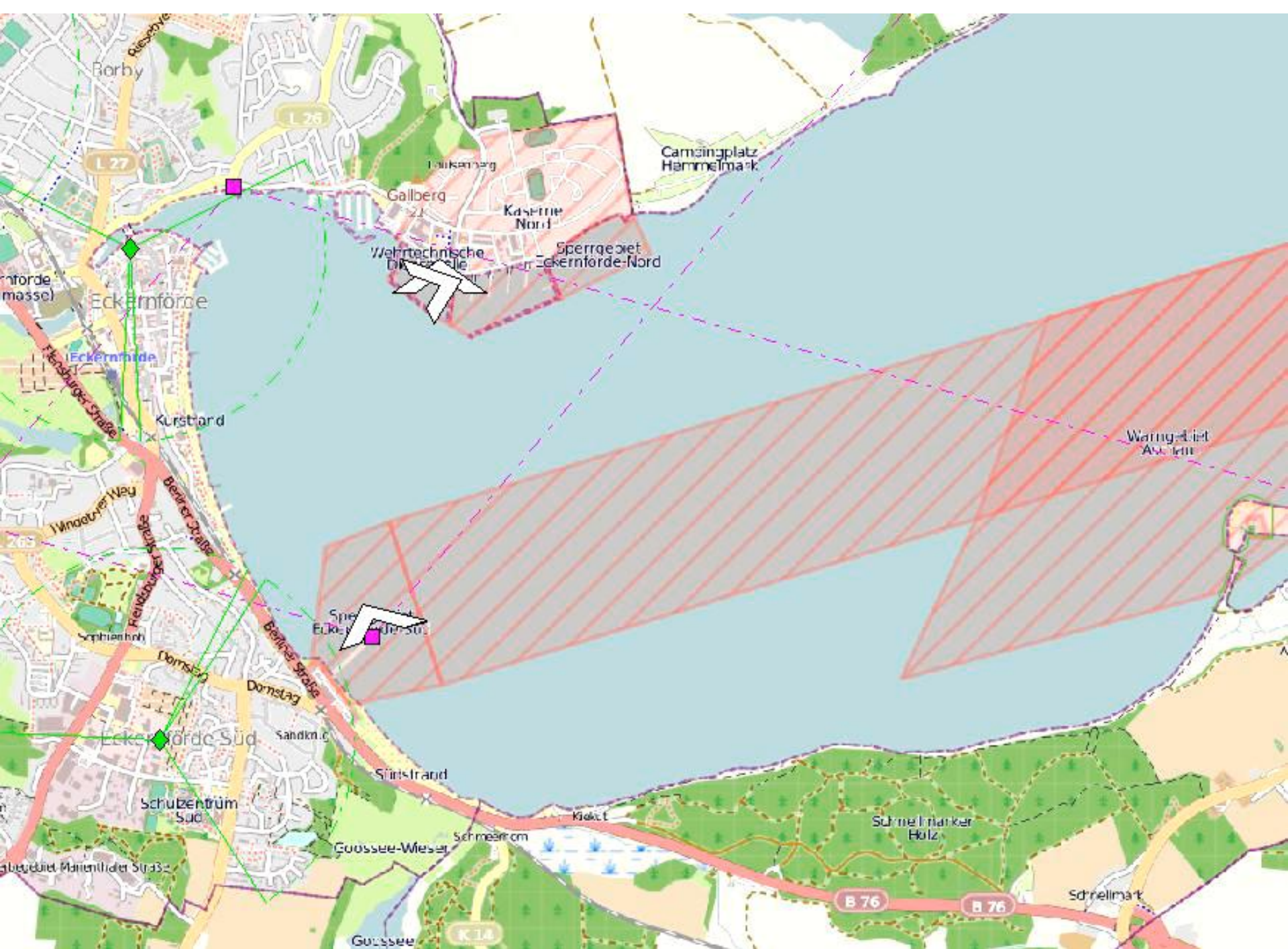
# Passive Coherent Location: Digitalization-enabled Sensor PCL using mobile communication signals (GSM, LTE, EAN)



- Base Transceiver Station for illumination
- Localization and tracking of air / sea targets
- A sensor open of cognitivity (Simon Haykin)



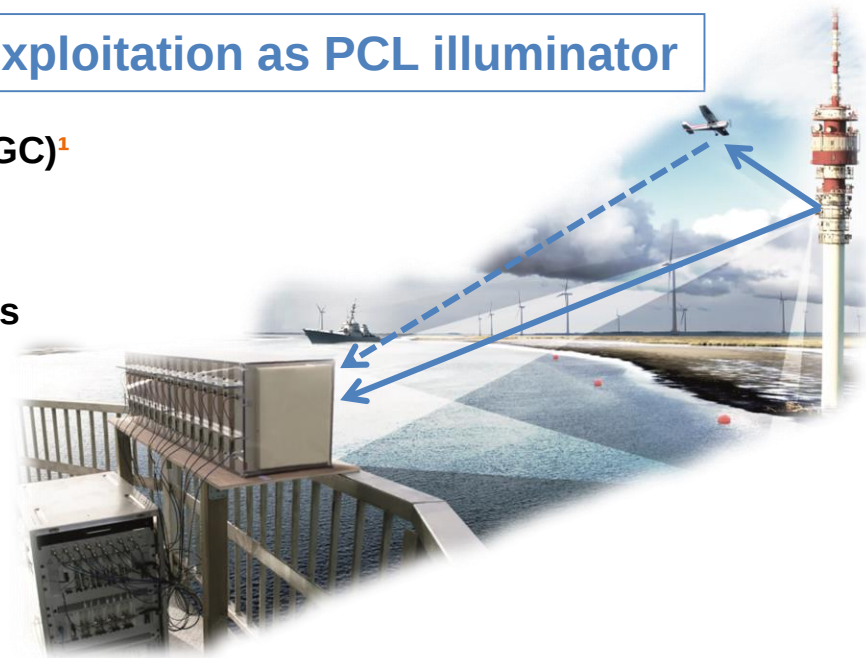
COMET@Fraunhofer FKIE



# EAN – European Aviation Network

## PCL using mobile communication signals

- Hybrid network to provide high-speed in-flight connectivity to aircrafts (S-band)
- LTE-type transmission (ground2air) ← **Exploitation as PCL illuminator**
  - 292 Complementary Ground Components (CGC)<sup>1</sup> across 30 European countries
- Inmarsat S-Band Satellite network in supply gaps
- Providers:
  - Deutsche Telekom
  - Inmarsat
  - Nokia
- Launched in spring 2018



# EAN – European Aviation Network

## Ground Station Sites

approx. 300 EAN/LTE ground located  
base stations

Source: Deutsche Telekom





**What about airborne  
multistatic radar?**

# Multisensor Fusion

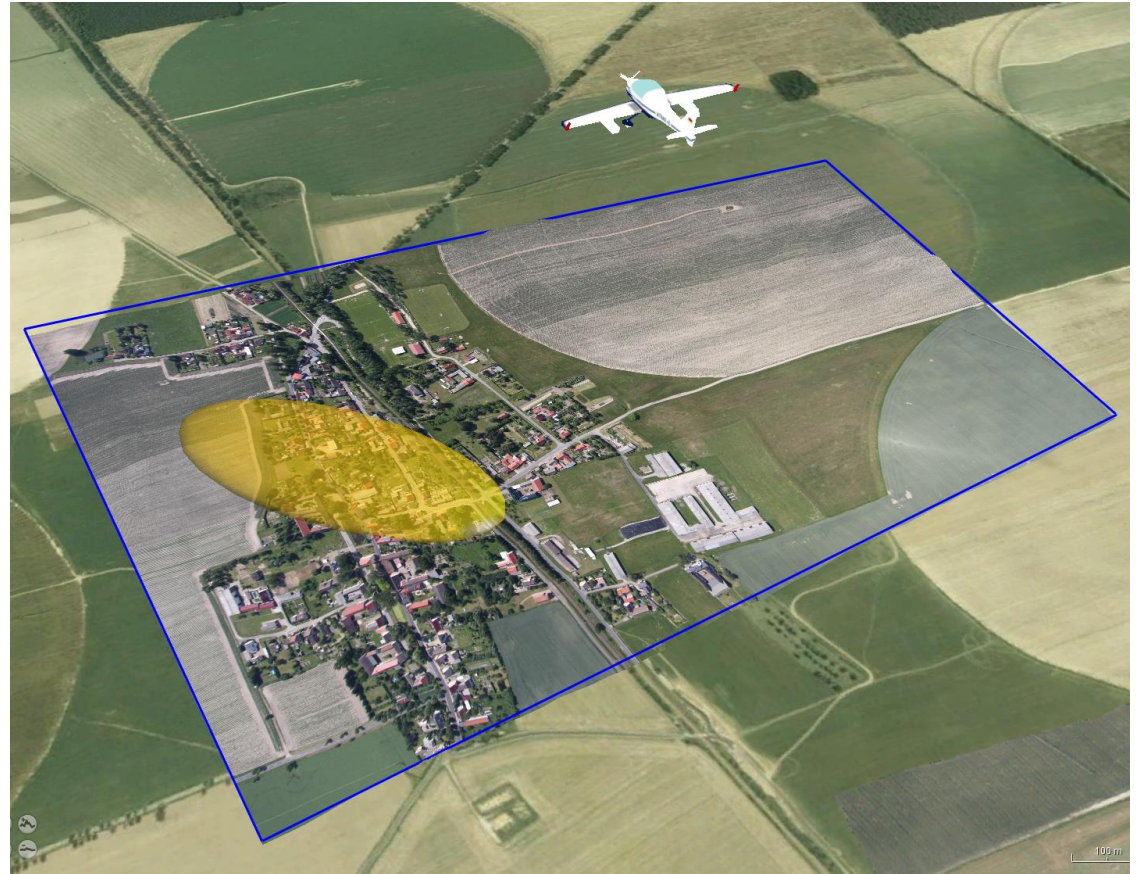
## EMS and EO Fusion

### Aim:

Track and localize multiple radio emitters.

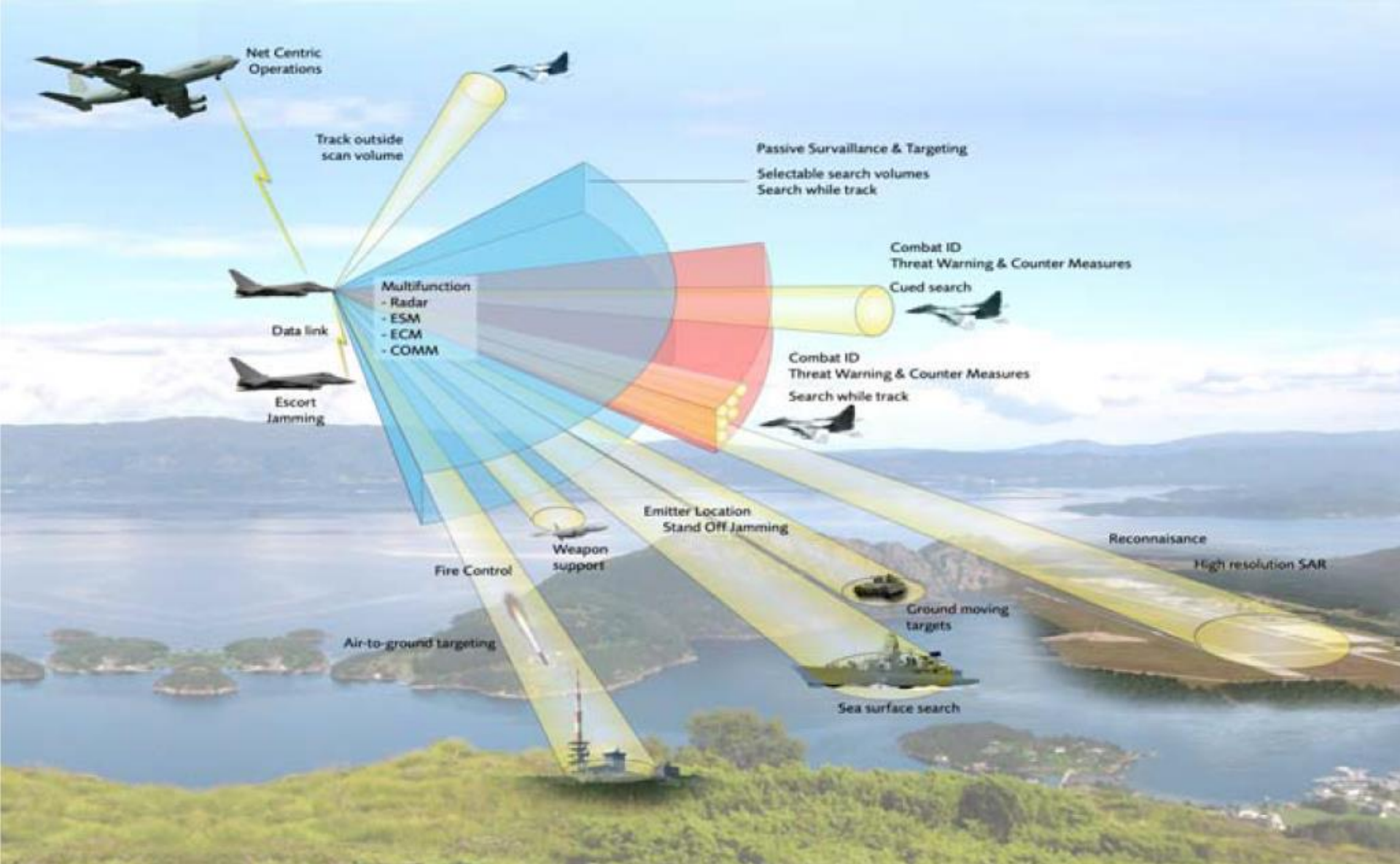
### Sensors:

- Antenna Arrays
- Cameras (EO/IR)



Effective **management** of sensor configurations and resources:

**ACTION**



© Hensoldt

# MFRFS Resource Management

## Quality-of-Service



# MFRFS Resource Management

## Quality-of-Service

### Target Engagement

- Requirement on track accuracy for weapon systems
- Self-protection

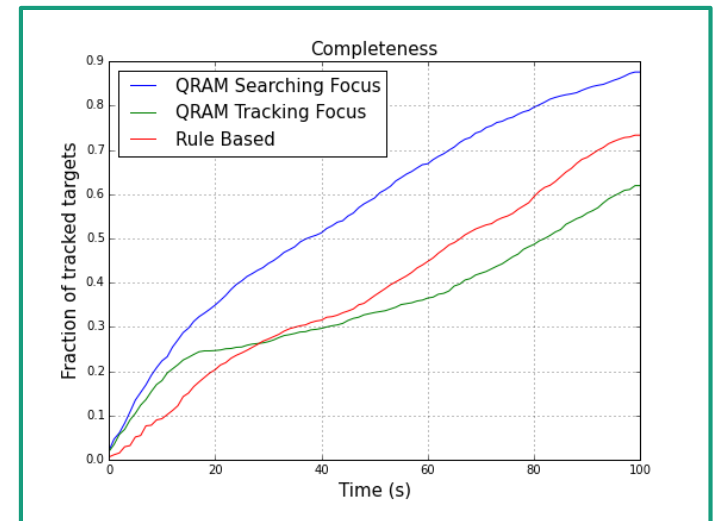
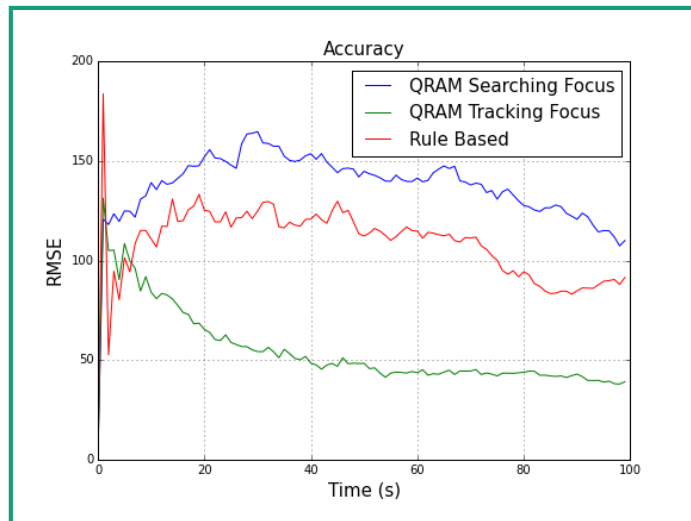
### Wide Area Surveillance

- Quality of the situation picture
- Self-protection

Required  
Qualities

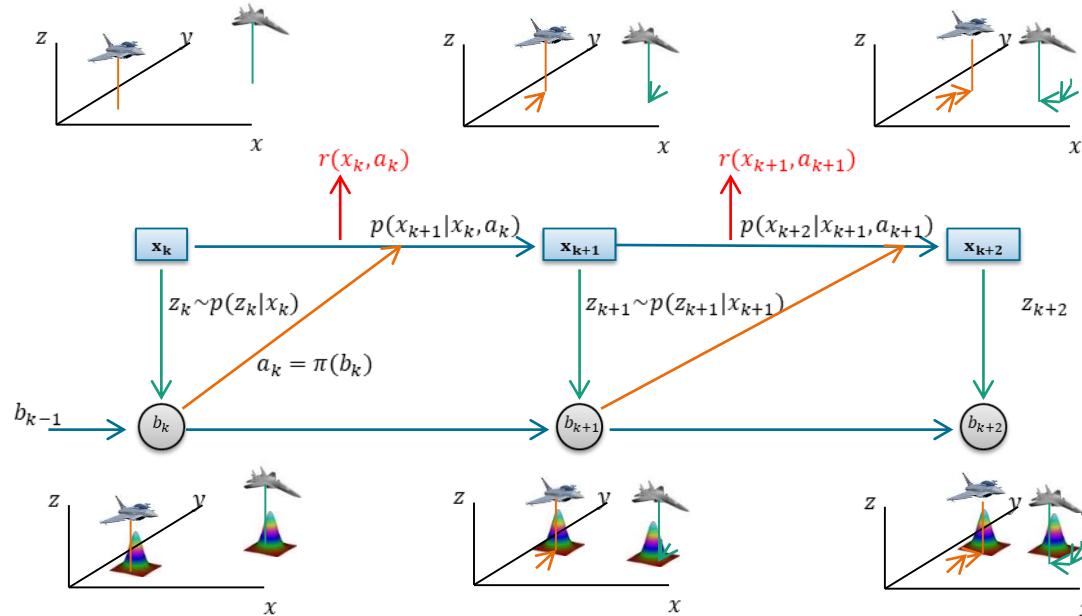
QoS Optimisation

Control  
Parameters



# Partially Observable Markov Decision Processes

## Concept



Key features:

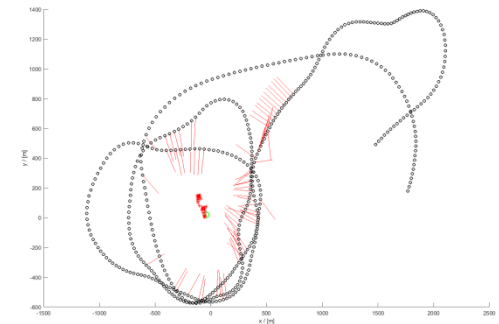
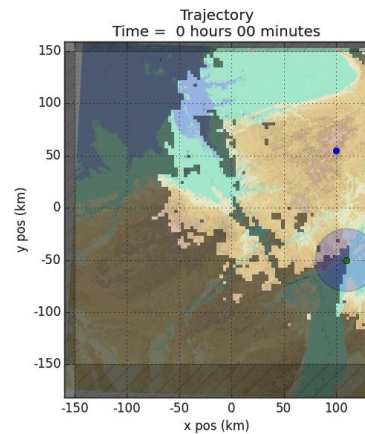
- Action is selected based on reward from a **long future time horizon**
- Action is **selected online**, based on all **current knowledge**
- Basis for **reinforcement learning**

# Anticipative Control With POMDPs

## Sequential Decision Making Process

- Online decisions, based on all available information and knowledge
  - Decisions met based on possible future events
- Direct consideration of uncertainty

## Trajectory Optimisation:



Understanding of the underlying processes in the environment:

# LEARNING

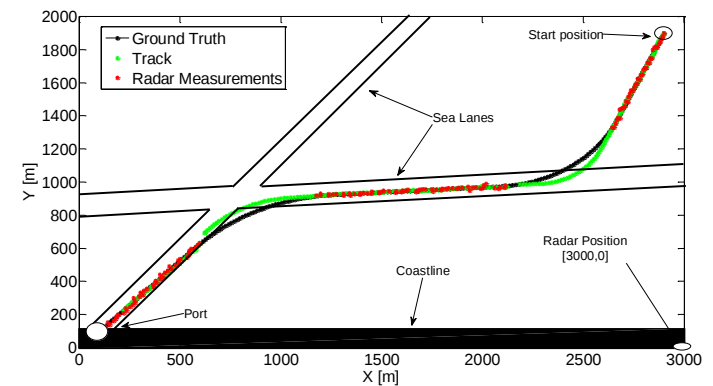
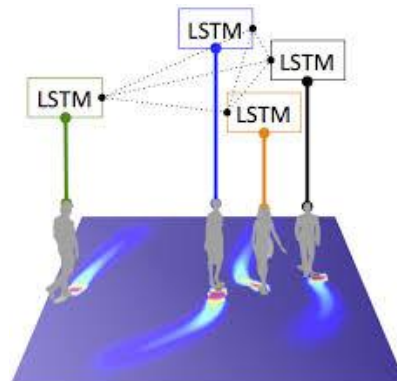
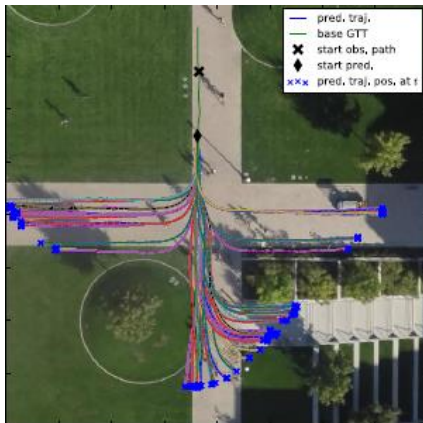
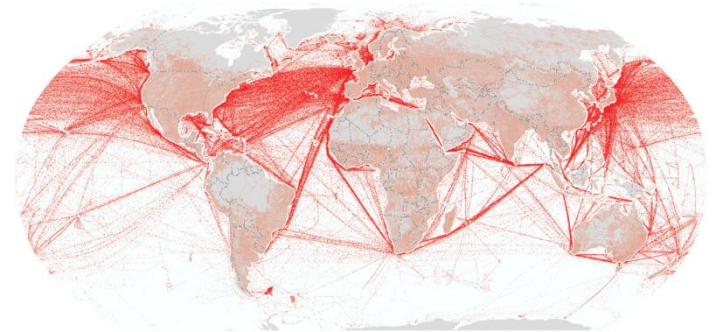
# Behaviour Learning

## Complex Targets

Standard models for object dynamics use general Markov models

However, actual target behaviours:

- Exhibit long-term dependencies
- Repeat previously observed patterns



# Learning Signal Sequences

## Long Short-Term Memory Neural Networks

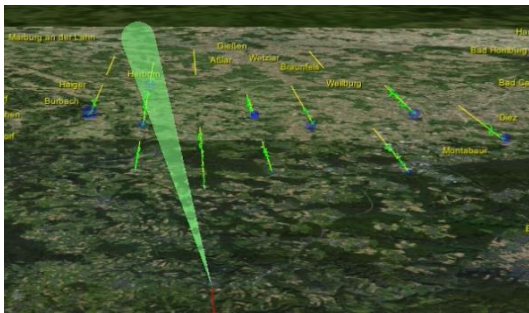
**Goal:** Behaviour model of radar emitters

### Applications:

- Deinterleaving, signal identification
- Emitter tracking and jamming
- Threat analysis

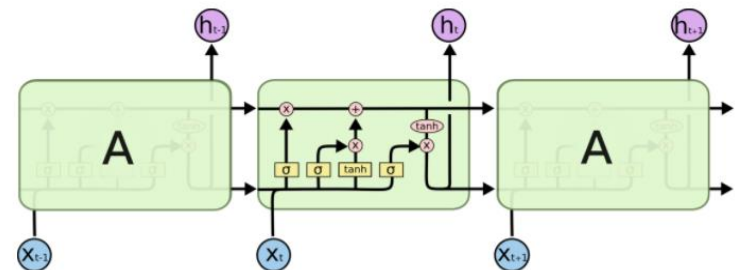
### Approach:

- Hierarchical modelling
- LSTM networks



### Long Short-Term Memory:

- Variant of recurrent neural networks
- Special structure for handling long-term dependencies
- Prediction of next value possible



The repeating module in an LSTM contains four interacting layers.

Source: C. Olah, "Understanding LSTM Networks", Blog Post, August 2015, <https://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>

# SUMMARY

# Challenges

## Cognitive ISR Applications

### Learning

- Does the learnt knowledge fit to the current environment
- When, where is learning possible?
- Is it certifiable? Military decisions?

### Trust

- Can an operator trust the decisions?
- Possible impact on training process
- Much better man-machine-interfaces

### Challenges

### Reliability and Robustness

- Are the external data sources available and uncompromised?
- Is my learnt knowledge complete?
- There is possibly „Cognitive Loss“

### Vulnerability

- New EA possibilities against cognitive ISR systems?
- How can a cognitive ISR systems be protected?



For the very first time in Germany, a large armament project will be guided by an ethics counsel from its beginning.

März 2019

## Menschliche Verantwortung als Leitgedanke bei einem Future Combat Air System (FCAS)

### Was ist FCAS?

2017 haben sich die deutsche und französische Regierung darauf verständigt, gemeinsam ein „Future Combat Air System“ (FCAS) zu entwickeln. Dieses Vorhaben wurde im Rahmen der deutsch-französischen Regierungskonsultationen 2018 bekräftigt. Seither wurden in Form nationaler Konzeptstudien erste technische Spezifikationen eines solchen Luftkampfsystems der Zukunft formuliert.

Anderes als bestehende Luftkampfsysteme wie Tornado, Eurofighter oder Rafale wird FCAS deutlich mehr sein als „nur“ ein Kampfflugzeug. Wenigstens das Flugzeug die wesentliche Plattformentwicklung ist, wird es Bestandteil eines komplexen, vernetzten Gesamtsystems sein, bestehend aus zahlreichen Einzelkomponenten, die je nach Einsatzszenario sowohl im Verbund

als auch für sich genommen agieren können. Ein solcher Ansatz erhöht nicht nur die Effektivität, sondern ermöglicht auch eine hohe Kompatibilität mit den Strukturen der NATO und der vieler anderer europäischer Partnernationen. Durch die offene Systemarchitektur können zudem bestehende Plattformen wie Eurofighter oder A400M Bestandteil von FCAS werden.

Die Integration dieser zum Teil bemannten, zum Teil unbemannten Komponenten zu einem kohärenten sowie integrierenden Gesamtverbund erfolgt über ein System-of-Systems (SoS). Zudem sind sämtliche im Systemverbund integrierten Plattformen über ein Combat Cloud Ecosystem (CCE) miteinander vernetzt, wodurch alle relevanten Informationen für die an einer Mission beteiligten Akteure in Echtzeit verfügbar sind.

### Stärkung der deutschen Wissenschafts- und Forschungslandschaft

Für die europäische militärische Luftfahrt bedeutet FCAS einen technologischen Quantensprung. Wobei der Einsatz vernetzter Systeme in globaler Perspektive längst kein Novum mehr ist, sondern zunehmend die Regel.

Im Rahmen der Aufteilung der industriellen Zuständigkeiten wurde schon vor der deutschen und französischen Regierung entschieden, die Verantwortung für die Entwicklung des Next Generation Fighter (NGF) bei Dassault zu verorten, während Airbus Defence and Space fe-

derführend die Entwicklung und Integration der Gesamtarchitektur (SoS/CCE) sowie der des Kampfflugzeug begleitenden unbemannten Komponenten (Remote Carrier, RC) übernimmt. Da wichtige Zukunftstechnologien wie Künstliche Intelligenz (KI), Big Data Analytics, Krypto-Technologien oder Mensch-Maschine-Interaktion als zentrale Enabler einer SoS/CCE-Gesamtarchitektur fungieren, bedeutet dies nicht zuletzt eine Stärkung des Wissenschafts- und Forschungsstandorts Deutschland.

### Ethische und völkerrechtliche Aspekte

Der Einsatz neuer Technologien zieht stets auch Fragen ethischer Natur nach sich. Das gilt für nahezu alle Bereiche, besonders aber natürlich für Sicherheits- und Verteidigungstechnologien, deren Einsatz naturgemäß einer besonderen Sensibilität unterliegt und obendrein auch aus völkerrechtlicher Perspektive relevant ist.

Im Zentrum eines FCAS wird auch weiterhin die bemannte Komponente (NGF) stehen. Das wurde von der Politik eindeutig so entschieden und ist Ausgangs-

punkt für sämtliche weitergehende technologische und strategische Planungen. Dahinter steckt die Prämisse, dass die rationale menschliche Entscheidung Dreh- und Angelpunkt in allen denkbaren FCAS-Missionsszenarien ist. In anderen Worten, für FCAS gilt, was in der Militärischen Luftfahrtstrategie 2016 des BMVg bereits für unbemannte Luftfahrzeuge festgeschrieben wurde: „Ein Waffeneinsatz [erfolgt] ausschließlich unter der Kontrolle des Menschen“.

Tatsächlich schafft eine SoS/CCE-Gesamtarchitektur die Voraussetzung dafür, komplexe und unübersichtliche militärische Einsatzszenarien der Zukunft so zu erfassen, dass eine vom Menschen verantwortete Entscheidung überhaupt erst ermöglicht wird. Grundlage dafür ist ein kohärentes, umfassendes Lagebewusstsein sämtlicher an einer Mission beteiligten Akteure. Die technologische Reduktion von realer Komplexität ist demnach eine zentrale Komponente eines SoS/CCE-Ansatzes.

Gerade die Entwicklung einer multisensuell ausgelegten SoS/CCE-Architektur im Rahmen von FCAS ermöglicht es somit, die Anforderungen zu erfüllen, die als „jus in bello“ (das Recht im Krieg) im Kriegsvölkerrecht festgelegt sind:

- Diskrimination: Waffeneinsatz nur gegen Kombattanten, wodurch eine lückenlose Erfassung erforderlich wird;
- Verhältnismäßigkeit: Wahl bedrohungsadäquater Waffentypen auf Grundlage einer „pre-engagement collateral damage prediction“;
- Vorsorge: Vorrang der unsicheren Prognose gegenüber der vermeintlich sicheren;
- Zurechenbarkeit: „meaningful human control“.

Hinzu kommt die durch ein solches System prinzipiell unterstützte Rechtmäßigkeit der verantwortenden Entscheidung durch transparente Handlungsoptionen und umfassende Einsatzdokumentation. Einen ersten Eindruck

hiervon kann man bereits heute im Airbus Defence and Space FCAS-Lab in Manching gewinnen, wo unter Einsatzbedingungen und in Echtzeit der strukturierte Daten- und Informationsfluss für die im Einsatz befindlichen Pilotinnen und Piloten simuliert wird.

Die Entwicklung eines FCAS bedeutet besondere technologische Herausforderungen, insbesondere bei der Software und der Sicherheit gegenüber Cyber- und elektronischen Angriffen sowie bei Angriffen durch sogenannte „Autonomous Weapon Systems“ (AWS), welche in Zukunft von feindlichen Staaten vermehrt eingesetzt werden dürfen. Um auf derlei Gefahren angemessen und schnell reagieren zu können, kann es erforderlich sein, den Autonomiegrad von Waffensystemen im Hinblick auf menschliche Reaktionszeiten sowie die spezifische Bedrohung entsprechend zu skalieren. Auch diesen Anforderungen, welche die Realitäten künftiger Kriegsführung berücksichtigen, muss ein FCAS-Systemdesign Rechnung tragen.

Gleichwohl gilt auch hier, dass technologische Fähigkeiten und menschliche Entscheidungsfähigkeit nicht getrennt voneinander erfolgen dürfen. Stattdessen muss bereits in der technologischen Entwicklungsphase die Prämisse vom unauf löschlichen und letztgültigen Kriterium der rationalen menschlichen Entscheidung und Verantwortung fortlaufend berücksichtigt werden.

### Gestaltung des Dialogs zu ethischen Fragen im Rahmen von FCAS

Dieser Prozess erfolgt im konkreten Fall des FCAS im ersten Dialog zwischen den beteiligten Akteuren aus Politik, Unternehmen sowie Wissenschaft und Forschung. Er ist eingebettet in einen gesamtgesellschaftlichen Diskurs, der bereits begonnen hat und der uns in den kommenden Jahren begleiten wird. Als Plattform für den Austausch fungiert eine Arbeitsgruppe, welche von

Fraunhofer FKIE und Airbus Defence and Space organisiert und koordiniert wird und in der Vertreterinnen und Vertreter aus unterschiedlichen Bereichen der Gesellschaft die technologische Entwicklung von FCAS aus u.a. ethischen und völkerrechtlichen Blickwinkeln begleiten werden.

“Human responsibility as a guiding principle at a Future Combat Air System”

# Responsible use of AI systems ← Rules of Engagement

**discrimination:** engagement **without surveillance gaps.**

challenging in urban environments: multisensor drones

**proportionality:** selection of **appropriate weapons.**

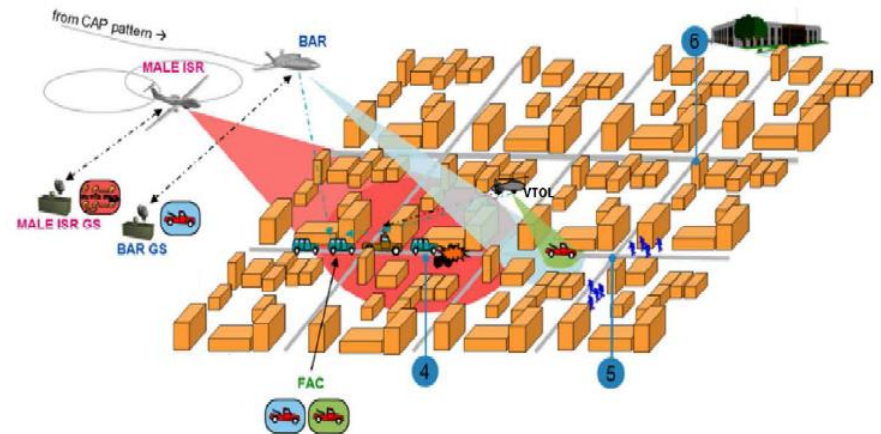
basis: pre-engagement collateral damage prediction

**precaution:** priority of the **inauspicious prognosis.**

**imputability:** relevance of meaningful **human control.**

**legal security:** transparent options, documentation, ...

mission-specific, legally  
binding frame of action



**technical requirement for AWS: RoE-compliance by Design**

enabling responsible action to its very end – *human command & machine control*

# Certifiable autonomous cars

**discrimination:** driving without surveillance gaps.

challenging in urban environments: multiple sensors, Car2Car, ...

**proportionality:** selection of appropriate options.

basis: pre-engagement collateral damage prediction

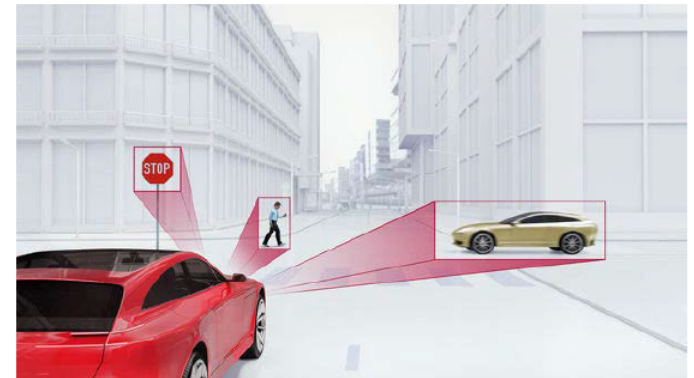
**precaution:** priority of the inauspicious prognosis - driver, pedestrian?

**imputability:** relevance of meaningful human control.

**legal security:** transparent options, documentation, ...

← *Road Traffic Act*

mission-specific, legally  
binding frame of action



**technical requirement for cars: Law-compliance by Design**

enabling responsible action to its very end – *human command & machine control*

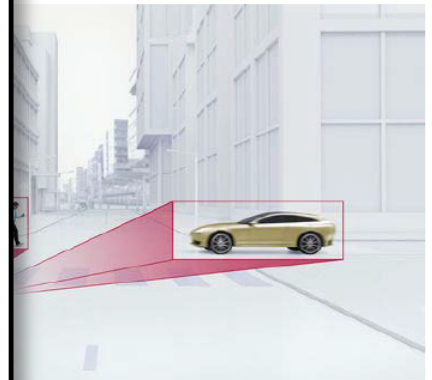
# Certifiable autonomous cars

← *Road Traffic Act*

**discrimination:** driving  
challenging in urban  
**proportionality:** sele  
basis: pre-engagem  
**precaution:** priority  
**imputability:** relevan  
**legal security:** transp

Same situation in many AI-based systems: drones, logistics, consumer robots, finance bots, smart cities, ...!  
**Access point for diplomacy?**

mission-specific, legally  
binding frame of action



**technical** requirement for cars: **Law-compliance by Design**  
enabling responsible action to its very end – *human command & machine control*

# Distinguish AWS against

- human beings: Lethal AWS
- machines: Anti-(L)AWS AWS



“For unmanned aerial vehicles, the principle of the "human-in-the-loop" and thus the **immediate option of operator intervention** must be ensured at all times. It is and remains the Federal Government's policy that unmanned aerial vehicles are used **exclusively under human control** and only in missions mandated by the Bundestag.”

*Military Aviation Strategy 2016, German MoD*



Militärische  
Luftfahrtstrategie  
2016

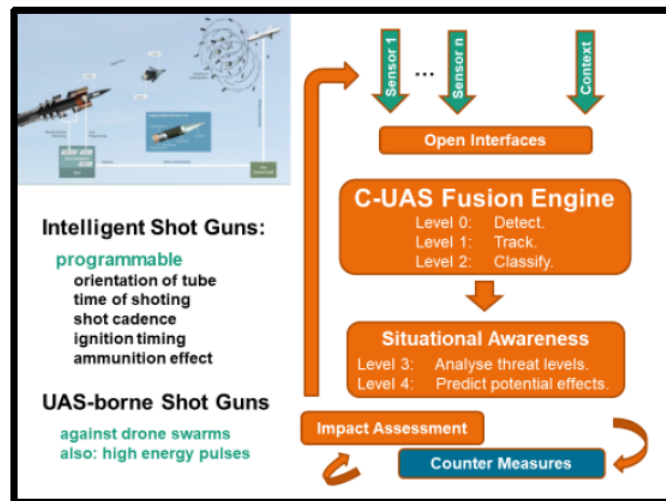


  
**Bundeswehr**  
Wir. Dienen. Deutschland.

# Some Closing Remarks on Technical Counter Measures

## (L) Autonomous WS

Build RoE compliant Anti-(L)AWS AWS!  
Fairly mature model: anti-drone drones



## Hypersonic WS - HGV

Global high precision strikes even **below the nuclear threshold** against infrastructures critical for defence and/or civil life.

Classical deterrence **credible** or **politically enforceable**? Tiny reaction time: humans?

An element of **well-differentiated threat options** for adversaries **between conventional and nuclear** warfare? Is it essentially a political blackmailing technology?

Research for technical counter measures!

# Contact

**Wolfgang Koch**

Prof. Dr. habil., Fellow IEEE

**Fraunhofer FKIE**

**Department SDF**

***Sensor Data and  
Information Fusion***

**Fraunhoferstr. 20**

**D-53343 Wachtberg**

**Germany**

**Phone +49 (228) 9435-373**

**Fax +49 (228) 9435-685**

**Email [wolfgang.koch@fkie.fraunhofer.de](mailto:wolfgang.koch@fkie.fraunhofer.de)**

**Web [www.fkie.fraunhofer.de/sdf](http://www.fkie.fraunhofer.de/sdf)**

