

# **Optimization-based decision support within healthcare and transportation**

### eVITA Scientific Meeting Geilo, Norway January 28, 2010 Geir Hasle, SINTEF ICT



# Acknowledgment

- Henrik Andersson, NTNU
- Marielle Christiansen, NTNU
- Arild Hoff, Høgskolen i Molde
- Arne Løkketangen, Høgskolen i Molde
- Tomas Nordlander, SINTEF
- Atle Riise, SINTEF
- Martin Stølevik, SINTEF



# Outline

- Motivation relevance to practice and eVita
- Discrete optimization
- Challenges
- Summary and conclusion



ICT



### Discrete optimization problems

- central to better performance
- hard
- Strong need for more powerful methods
- Several challenges and promising research avenues
- Short road from theoretical to practical improvements
- Important part of eScience



# Healthcare

"Det er mye god omsorg i effektivitet" P. Syrstad presentasjon på Ringerikskonferansen 2008.

ICT

### Need for better coordination

- Increasing demands
- Patient focus: high quality treatment
- Resource focus: Need to curb cost increase

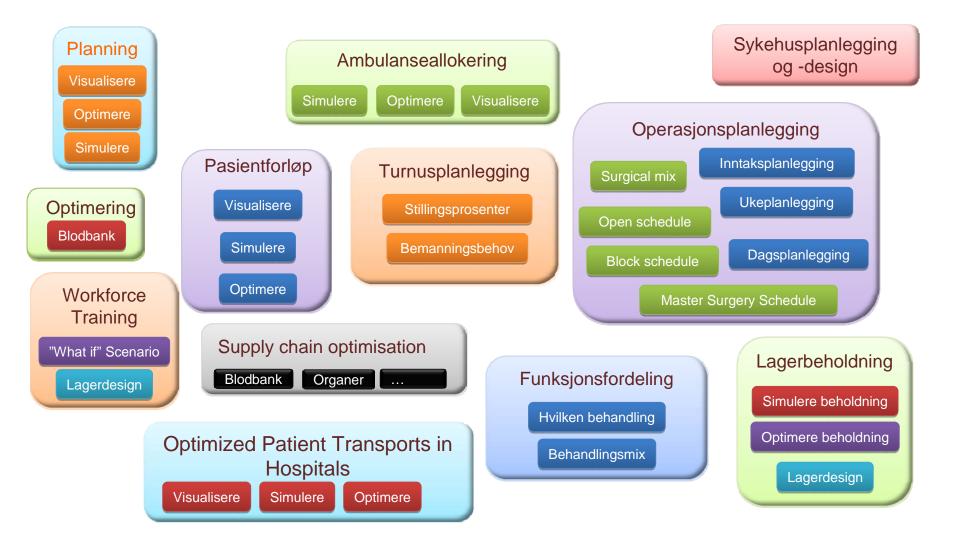
### Design, planning

- Crucial to performance
- Too complex for manual decision-making
- Time consuming and repetitive
- Need for decision support systems
  - Automated planning
  - Objectives and constraints
  - Computationally complex Discrete Optimization Problems

Need for models and effective solution algorithms



# **Coordination challenges in healthcare**





ICT

. . . . . .

## Vision: An optimized healthcare system





ICT

•

-

# Two cases in point

### Nurse rostering

- Solved manually by experienced nurses
- Timetabling problem
- Computationally hard discrete optimization problem

### Surgery scheduling

- Solved manually by experienced nurses
- Long-term, mid-term, short term
- Critical resources: operation theaters, surgeons
- Variants of the Job-Shop Scheduling Problem
- Computationally hard discrete optimization problem



💰 GAT-I	Turnus ver, 4.2.2 - (SUP)	ER - TESTHOSPITALET HF) - Turnus	plan: Turnus2 - mottagels	au			
		deling   Rapportsenter   ØT adm   Adı	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1		-		
<u>E</u> ndre Tu		Nin aum 1		hư 🔍 - /is Zoom	Skriv ut		Lukk Nivå <u>H</u> jelp
	Uke 1	Uke 2 Uk			Uke 6	Uke 7 Uke 8	Uke 9 Uke 10
Nr. ~ 1 Be						TiOn ToFrLøSøMaTiOn ToFrLøSøMaTiOn DNDDAADFTND	n To Fr Lø Sø Ma Ti On To Fr Lø Sø Ma 🛣
	ei F1 A N N	D F1 N F2 N I	F2 F1 D F1 A	D D D N F1 F2	N A D F2 F1 A F	F1 D A A A N F2 F1 D A	A F2 F1 F1 D D N N N N
2 Bj 3 Bj 4 Br			N F1 F1 A I	DDD DF 1DD NDF	1 A D A F1 F1	N N N A A D A F1 N	FID FID AA
4 Br		D N A F1 A	F1 D N A F D F1 F1 D	1 D D N D F A A A N D F		D D D A N F1 N D F1 D D D F1 A D D N F1	A F1 F1 A A A N F1 A N N
6 Br	rå AF1DDNN	N F1 D N A	A F1 F1 A D	N N D N F	1 N A F1 F1 /	A D A A A D F1 D D	A F1 F1 D D D
7 Be 8 Ca		D A F1 F1 D	A N F1 1	D A A A D F	1 A D F1 1	A D D D A N F1 D   N F1 D N A A N F1 D	N F1 F1 N A   N F1 F1 A A A
9 D4	ag F1 D N D D	D A F1 A I	F1 N F1 D	N N N A F	1 D N F1 A F	FIDAAFIDA N	D F1 F1 A D D
10 GI		D A F1 A C A D F2 F1 N	F1 F1 A D F2 F1 A F1 A	D D A A F2 F	1 D D F2 F1 F1	NANNANDF2F1 N	F1 F1 N N   D F2 F1 A F1 A A A F1
12 G	uc F1 D N D D	A D F2 F1 F1 D /	A F2 N F1 D	N N N A F2 F	1 D F1 A F2 N F	F1 D A A A D A F2 F1 A D	F2 F1 A A F1 D D D D
13 Gi 14 Gj		D A F1 N /	N F1 D F1 A	A A F1 D D A A D N F		A D N N D N F1 D	F1 F1 D D   D F1 F1 D D D
15 Ha	al A F1 D N D D	A D F1 D	A F1 N F1 D	N N A N F	1 D D F1 F1	A A F1	F1 F1 A A
16 Ha			A F2 N F1 N A F1 D F1 D I	AAA DF		F1 A N D D D A F2 F1 D A A A N N F1 D D N F1 D	N F1 D D D
	at F1 D D A A	N A F1 D	A F1 F1 A N	D D D F		D N D A A N F1 D A	D F1 F1 N N D
19 Ha		A N F1 D D D A	F1 D D	N A A A D F2 F A F1 F1 N A D I	) N D F1 D	A FIDFIA NNNN	D F1 F1 A
21 He 22 He	ei D F1 A	N F1 D A A A D	N F1 A I	D F1 F1 A N D [	D D F1 1 A A F1 D N	N A F1 N F1 D D A A N	A F1 D F1 F1 F1 D F1 D
22 He		A F1 D N N A F1 D A F2 F1 A D	F2 F1 A D 1	F1 A N F1 A A		D D F1 N N F1 D D A D D A A A F2 F1 N N D D F1 N N N	N N F2 F1 D D A A A F1 N
24 Iv 25 Ja	e D A N F2 F1	F1 D A A D   N F1 A N N D	A F2 F1 D N A F1 D A	F2 F1 F1 A D D I F1 F1 A A D I		D A D F2 F1 F1 N D A A A	A F2 F1 D D A A A F2 F1 F1
24 Iv 25 Ja 26 Jo 27 Jo 28 Jo	h D A F2 F1	FID N N N A I	D F2 F1 D	A F2 F1 N F1 D N I	A A F2 F1 1	N D D F2 F1 F1 N A D D D F1	A F2 N N D D D F2 F1 F1
27 Jo 28 Jo		F1 A D D D F1 D /		F2 F1 D F1 N N I   F2 F1 D F1 N N I	N D F1 A F2 N   N D F1 A F2 N	D A F2 F1 F1 D A D D D F1   D A F2 F1 F1 D A A A D	A F2 N N D D F2 F1 F1   A A F2 F1 A N D D F2 F1 F1
29 Ka	at A N D F1	F1 A D A A N		F1 F1 A A A	D D F1 A	N D F1 N F1 N N N A	D F1 D F1 F1
30 Ka 31 Ki		F1 D N N A N   N F1 A N A A A		A F2 F1 N F1 D A A	A D F2 F1 D F	F1 A F2 N F1 D A A A F1 A N D F2 F1 A A F1 N N A D	D F2 N D A A A F2 F1 F1   D A F2 F1 D A N N F2 F1 F1
31 Ki 32 Kr 33 La		N F1 A D D A	F1 D N F1	N F1 A N 1	D N F1 D	F1 F1 A A	F1 F1 F1
33 La 34 La		N F1 D A A N   N F1 D D N I	F1 D N F1 A	F1 D F1 D A A A	A F1 U N	A D F1 F1 N N D D D	F1 F1 F1 F1
35 Li.	F N A D F1	FIA NDDD E	D F1 A D	F1 A F1 D N 1	A F1 N N	D A FI N FID A A A	D F1 A F1 F1
36 Lir 37 Lu		F1 A D D D N   D F1 A A D A	D F2 F1 A .	A F2 F1 F1 D D D C F1 A F1 D N F	A N F2 F1 A   N N A F1 D	D N F2 F1 F1 D A N N F1 D N A F1 F1 A D D N N	A F2 N N D D F2 F1 F1   F1 D F1
38 Ly	in A A F1	D F1 A N N N F1 D	N F1 A	N D F1 A D I	D F1 A F	FIDD NNFIDAA N	F1 A F1 A
39 Le 40 M		A F1 D N N D N F1 A D A A A D		F2 F1 F1 A D A F1 F1 F1 F1 N A F1		A F2 F1 D A F1 D N N A A   A N F2 F1 D A D <th>D F2 F1 D A A A F2 F1 F1   A A F2 F1 N D D D F2 F1 F1</th>	D F2 F1 D A A A F2 F1 F1   A A F2 F1 N D D D F2 F1 F1
41 M	a N D F1	D A F1 F1 A	DDD N .	A F1 N D F	1 F1 A D D D F1 I	D A N D A F1 F1 D	N A A F1 A
42 M		N D F1 D F1 A   D N F2 F1 F1 D	D D A N   A A A N D	F1 D D N F   F2 F1 A A F2 F			F1 N D A F1 F1   N D D D D A F1 F1
44 M	o N D F2 F1	A A F2 F1 F1 D N	N N A D	F2 F1 D N F2 F	1 A F1 N D D A	N D F2 F1 A D F2 F1 D F1	D N N A N N D F2 F1 A
45 M	a D A F1	D N F1 F1 A	D A A N F1 I	D N A F	1 F1 D D D D	F1 F1	
				100			
			s Inaktive Turnus generator				<b>?</b> 🖨 Hjelp Skriv ut liste
Avdeling	usplan Ny turnusplan Sjett tur	nusplan Legg <u>fil K</u> opier Vi Turnusplan navn		Linjer Stillinger Vertikal	Vaktlag Hjelpelinje Startdato	Sluttdato Godkjent	
1030 · Or	rtopedisk avdeling	Helle - Kopi av Testturnusen	3 Turnusplan	21 18,60	16.08.200	4 05.09.2004	
1030 · 0r		Kopi av Testturnusen Martin (Testturnusen)	3 Turnusplan 3 Turnusplan	21 18,60 21 18,60	19.07.200	4 08.08.2004 4 22.08.2004	
1030 - Or	rtopedisk avdeling	Testtumusen	3 Turnusplan	21 18,60	01.09.200	3 25.09.2005	
2010 - Ba		2003 Uke 36-41 2003 Uke 42-47	6 Ønsketurnus 2 6 Ønsketurnus 1	5 4,25 5 4,25	01.09.200	3 12.10.2003 3 23.11.2003	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd.	Atles 2	3 Ønsketurnus	5 4,25	16.08.200	4 05.09.2004	E
		Atles kopi av ØT GRUNNTURNUS Atles turnus	3 Ønsketurnus 3 Ønsketurnus	5 4,25 4 3,75		4 04.07.2004 4 05.09.2004	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd.	Helle test1	3 Turnusplan	5 4,25	01.11.200	4 21.11.2004	
2010 - Ba		Helles kopi av Martins Kopi av 2003 Uke 36- Helles kopi av ØT GRUNNTURNUS	41 6 Ønsketurnus 3 Ønsketurnus	5 4,25 5 4,25	06.09.200	14 17.10.2004 14 11.07.2004	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd.	Helles nye kopi av ØT GRUNNTURNUS	3 Ønsketurnus	5 4,25	21.06.200	4 11.07.2004	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd. arne og ungdomspsyk avd.	Kopi av Kopi av ØT GRUNNTURNUS Helle: Kopi av ØT GRUNNTURNUS - HELLE	3 3 Ønsketurnus 3 Ønsketurnus	5 4,25 5 4,25		4 26.09.2004 4 11.07.2004	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd.	Kopi av ØT GRUNNTURNUS Helle3	3 Turnusplan	5 4,25	13.09.200	4 03.10.2004	
		Martin 3 Martin helger først	3 Ønsketurnus 3 Ønsketurnus	5 4,25 5 4,25	09.08.200		
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd.	Martin OK	3 Ønsketurnus	5 4,25	16.08.200	4 05.09.2004	
2010 · Ba		Martin OK 2 Martin test	3 Ønsketurnus 3 Ønsketurnus	5 4,25 5 4,25		14 05.09.2004 14 22.08.2004	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd.	Martins Kopi av 2003 Uke 36-41	6 Ønsketurnus	5 4,25	30.08.200	4 10.10.2004	
2010 - Ba	arne og ungdomspsyk avd. arne og ungdomspsyk avd.	Martins Kopi av ØT GRUNNTURNUS Test	3 Ønsketurnus 3 Hjelpeturnus	5 4,25 5 4,25	26.07.200	4 15.08.2004 4 03.10.2004	
		Test Bemanningsplan Behov Visualisering Ko			13.03.200		
		,					



ICT

 .

# **Discrete optimization (1)**

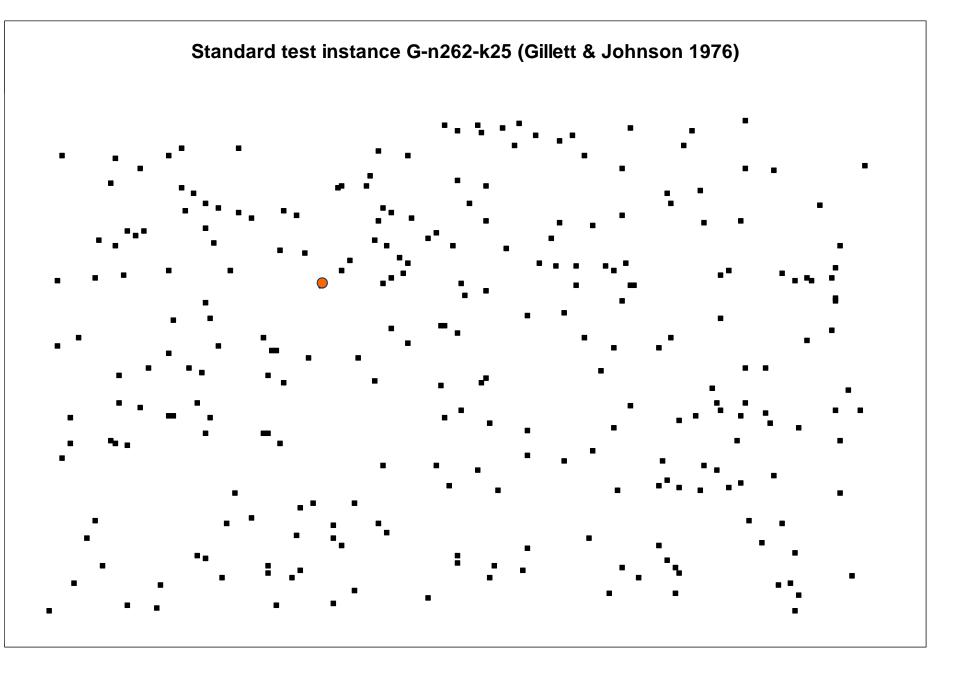
- Central to real-life problems across many application areas
  - routing
  - scheduling
  - planning
  - design
  - resources, time, activities
  - economy, environmental effects
- Healthcare, transportation, manufacturing, oil & gas, finance, sports
- Computationally hard
- Physics, chemistry, biology, electronics, statistics, geometry, ...



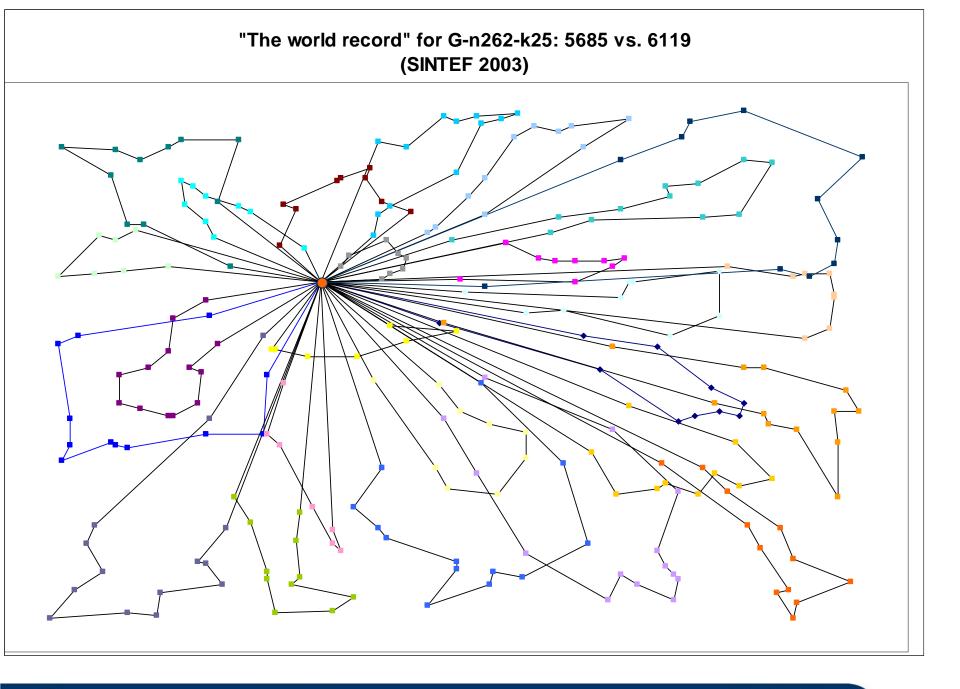
# **Discrete optimization (2)**

- Two basic types of method
- Exact, mathematical programming
  - guarantees to find the optimal solution
  - response time problematic
  - may be interrupted for feasible solution
  - Iow quality, but upper bound on error
- Approximative (typically heuristics)
  - greedy
  - Iocal search
  - metaheuristics
  - good solutions in limited time
  - no useful error bound

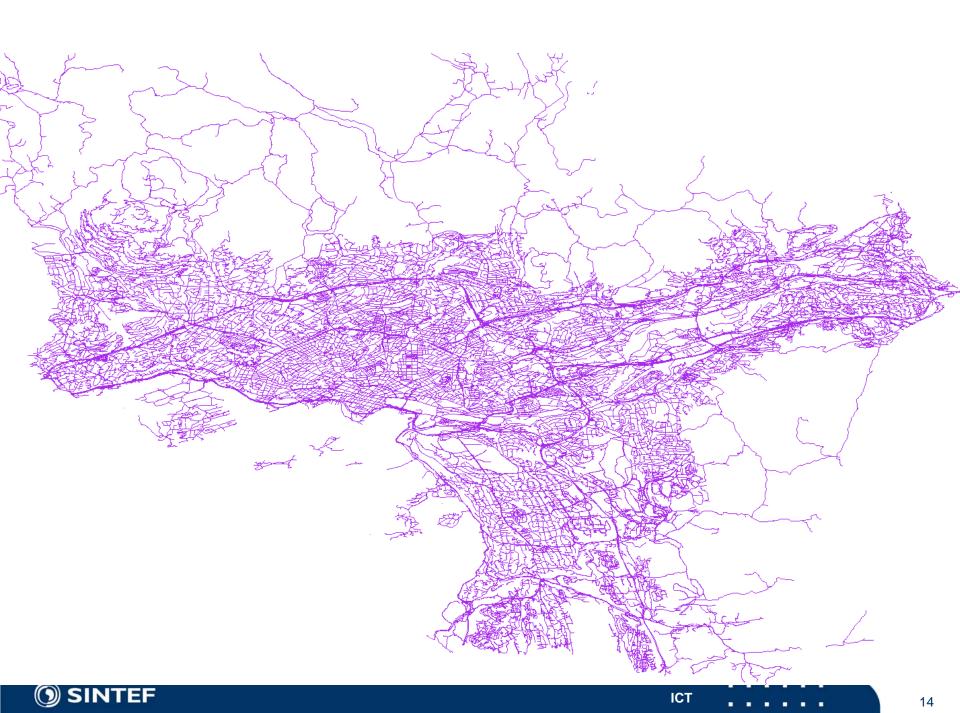


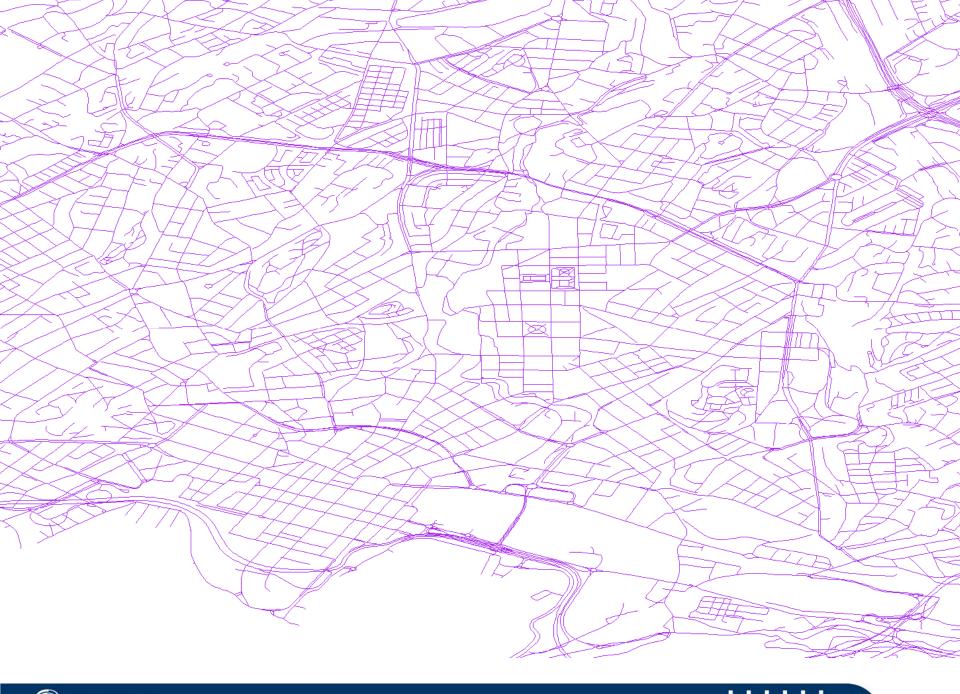




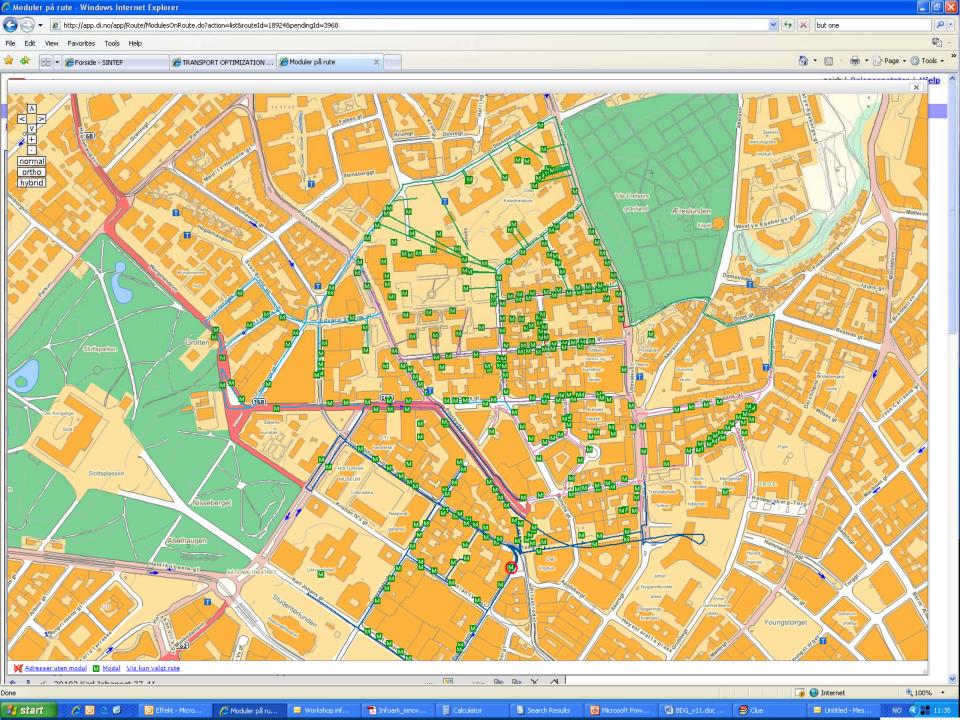


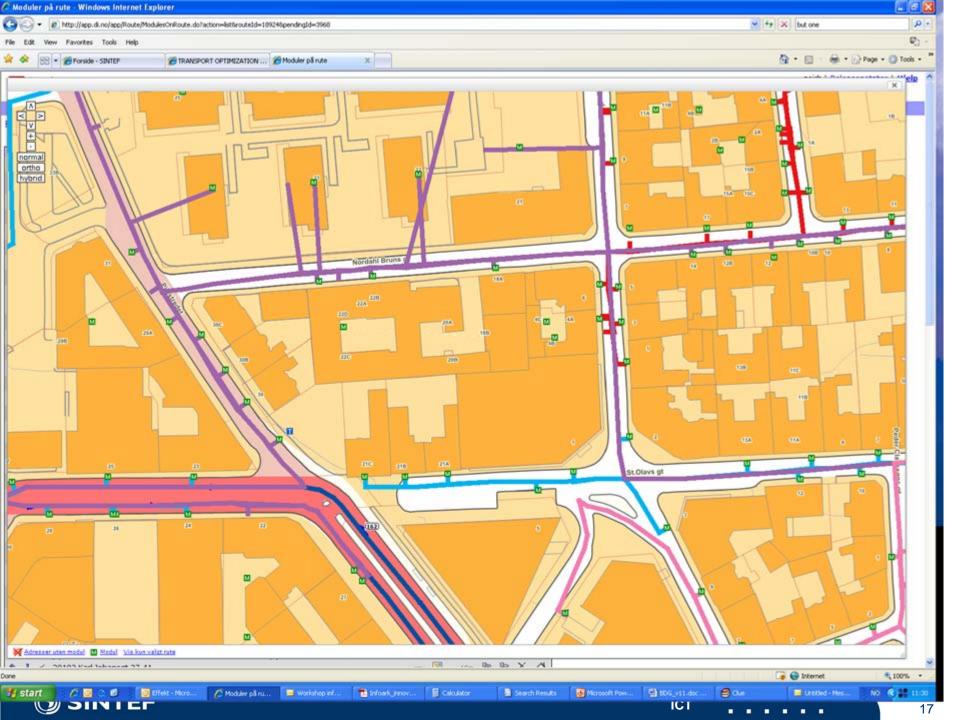












### **Discrete optimization – main challenges**

- More powerful methods exact and approximative
  - better solutions in shorter time
  - new applications
- Combining the strengths of exact methods and heuristics
- Decomposition and aggregation
- Multi-level solvers, different levels of abstraction
- Stochastic models
- Parallelization
  - fine grained, e.g. to exploit the architecture of modern commodity computers

ICT

- multi-core and heterogeneous computing
- coarse grained, e.g. cooperative hybrid solvers, multi-level solvers
- Self-adaptive methods

### Better benchmarks





# **DOMinant**

### Discrete Optimization Methods In Maritime and Road-based Transportation

Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Molde University College (HiM) and SINTEF ICT







ICT

Norwegian University of Science and Technology



# Main objective

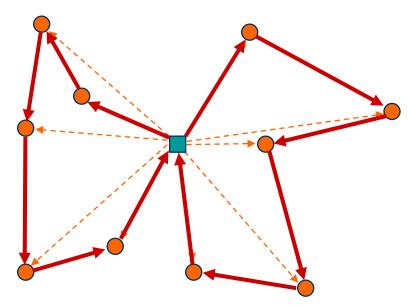
More efficient methods for rich, industrial variants of computationally hard discrete optimization problems in maritime and road-based transportation

- Two types of problems
  - Inventory routing
  - Fleet composition



# **Classical VRP(TW)**

- Deliveries from a single depot
- Given customer demand
- Homogeneous fleet
- Sizes/capacities
- Minimize total transportation cost
- (Single time windows)
- More than 1000 references

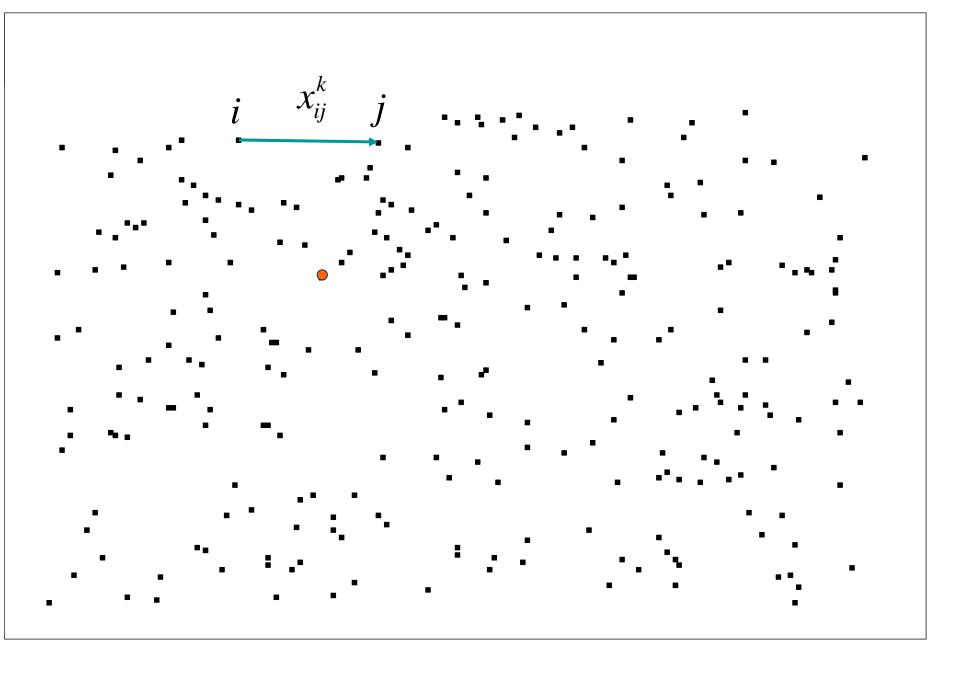




# **VRP with Capacity Constraints (CVRP)**

- Graph G=(N,A)
  - *N*={0,...,*n*+1} Nodes
  - 0 Depot, *i*≠0 Customers
  - *A*={(*i*,*j*): *i*,*j*∈*N*} Arcs
  - c<sub>ij</sub> >0 Transportation Costs
- Demand d<sub>i</sub> for each Customer i
- V set of identical Vehicles each with Capacity q
- Goal
  - Design a set of Routes that start and finish at the Depot with minimal Cost.
  - Each Customer to be visited only once (no order splitting)
  - Total Demand for all Customers not to exceed Capacity
  - Cost: weighted sum of Driving Cost and # Routes
- DVRP distance/time constraint on each route
- VRPTW VRP with time windows
- Pickup and Delivery
  - Backhaul VRPB(TW)
  - Pickup and delivery VRPPD(TW)
  - PDP







ICT

. . .

### A mathematical model for VRPTW (Network Flow Formulation)

minimize

Σ	$\sum$	$c_{ij} x_{ij}^k$
$k \in V$	$(i,j) \in A$	

(1) minimize cost

ICT

. . . . . .

subject to:

	$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ij}^k = 1,$	$\forall i \in C$	(2)	each customer 1 time
	$\sum_{i\in C} d_i \sum_{j\in N} x_{ij}^k \leq q,$	$\forall k \in V$	(3)	Capacity
	$\sum_{j\in N} x_{0j}^k = 1,$	$\forall k \in V$	(4)	k routes out of depot
		$\forall h \in C, \ \forall k \in V$	(5)	flow balance for each customer
Variables	$\sum_{i\in\mathbb{N}} x_{i,n+1}^k = 1,$	$\forall k \in V$	(6)	k routes into depot (redundant)
-arrival time	$x_{ij}^k(s_i^k+t_{ij}-s_j^k)\leq 0,$	$\forall (i,j) \in A, \ \forall k \in V$	(7)	sequence and driving time
Arc Decision variables	$a_i \leq s_i^k \leq b_i,$ > $x_{ij}^k \in \{0,1\},$	$ \forall i \in N, \ \forall k \in V \\ \forall (i, j) \in A, \ \forall k \in V $	(8) (9)	arrival time in time window arc (i,j) driven by vehicle k

**()** SINTEF

# **VRP Research in general**

- Since 1959
- Much harder than the TSP
- Thousands of papers
- More popular than ever
- Important vehicle for development of generic methods
- One of the great successes of Operations Research
- Industry of tools for transportation optimization
- Quick dissemination and exploitation of scientific advances
- The road is short from scientific to practical improvements

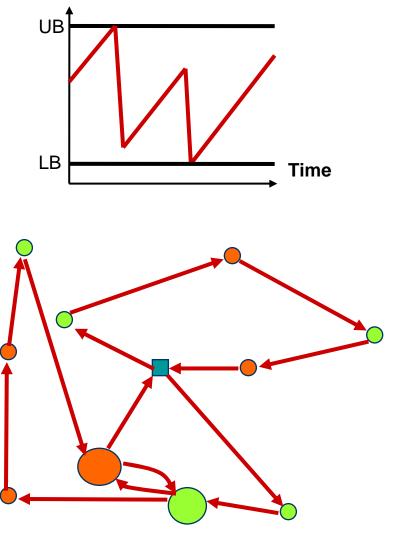


# Inventory routing problem (IRP)

- Inventories with capacities
- Production/consumption rate
- Heterogeneous fleet
- Design routes that minimize the transportation cost without interrupting production and consumption of the products
- No pickup and delivery pairs
- Quantity loaded unknown
- Number of visits unknown

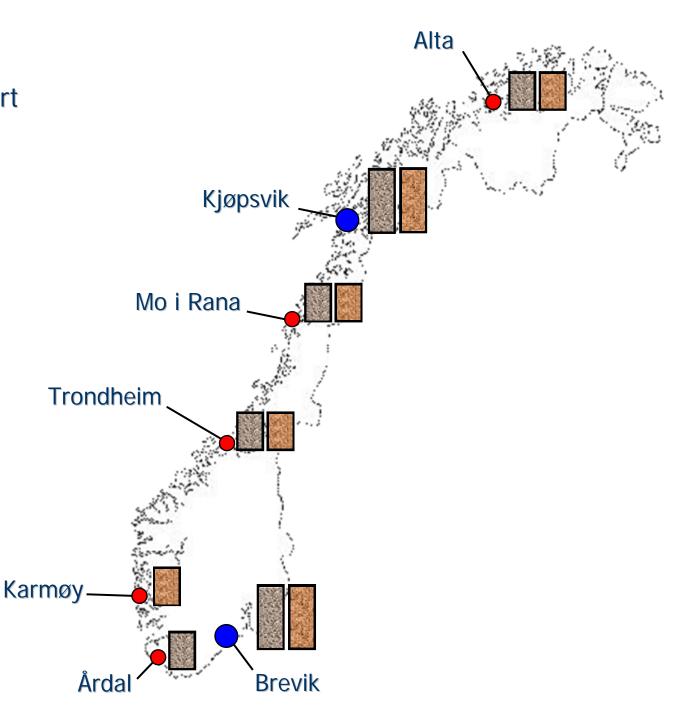
SINTEF

Inventory level, production





- **Consumption port** igodol
- Product 1 ale to
- Product 2







### **Practical applications - IRP**

- Both road-based and maritime transportation
  - One/multiple products
  - VRP and PDP structure (with and without depot)
  - Variable production/consumption rate
  - Stochastic demand/production
  - Combining inventory routing with other planning aspects (production, allocation,..)

#### Industry cases

- Ammonia Yara
- LNG Suez Energy International, StatoilHydro, RasGas, QuatarGas
- Cement Norcem
- Fuel oil Hydro Texaco
- Animal fodder Landbruksdistribusjon, Felleskjøpet





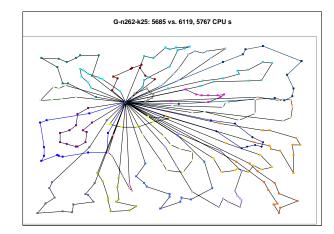
Daily charter rate Shipload of LNG worth Purchase price LNG tanker USD 150,000,000 

USD 60,000 USD 10,000,000



### **Fleet composition**

- VRP, PDP (or IRP) structure
- Variable heterogeneous vehicle fleet
  - capacities
  - acquisition costs....
- Objective: find a fleet composition and a corresponding routing plan that minimizes the sum of routing and vehicle acquisition/depreciation/ rental costs







### **Practical applications – Fleet composition**

Both road-based and maritime transportation

- Strategic and tactical fleet dimensioning
- One/multiple products
- VRP and PDP structure (with and without depot)
- Stochastic demand and price/cost structure

#### Industry cases

- Cars Høegh Autoliners
- LNG Statoil
- Dairy products Tine Midt-Norge
- Newspapers Aftenposten, Dagbladet
- Ice cream Henning Olsen, Diplom is
- Iocal distribution Linjegods
- Chemicals Broström Tankes (now Maersk)
- Cement Norcem
- Animals Norsk Kjøtt, Gilde



# **Research approach**

- Mathematical formulations for industrially relevant variants of inventory routing and fleet composition problems
- Analysis
- Solution methods
  - Exact methods (Column generation and Lagrangian relaxation)
  - Bounds, relaxations and reductions
  - Approximative methods (heuristic column generation, metaheuristics)
  - Hybrid methods (combining exact methods and metaheuristics)
- Prototype solvers
- Computational experiments on instances from literature and industry



# **Relevance to eScience**

- Mathematics
  - mathematical modelling
  - polyhedral theory
  - mathematical programming methods
- Computing science, informatics
  - conceptual modelling
  - search methods
  - decision support systems
- Applications
- Numerics
- High-performance computing
  - computational experiments
  - automated code generation for metaheuristics



# Summary

- Challenges in industry and the public sector
  - coordination
  - activities, time, resources
  - planning, design
- Computationally hard DOPs often at the core
- There is a strong need for more powerful methods
- Many challenges, promising research avenues
- Application oriented and scientifically challenging
- eScience
- Norway has a strong position
  - good scientists
  - good access to application cases
  - good infrastructure
  - good funding opportunities
- The road is short from scientific to practical improvements



# Conclusion

# Applied research in discrete optimization deserves further funding in eVITA



ICT



# **Optimization-based decision support within healthcare and transportation**

### eVITA Scientific Meeting Geilo, Norway January 28, 2010 Geir Hasle, SINTEF ICT



