



平成29年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 プロジェクト研究 研究集会(I)
防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて

編集：瀧澤重志・小林和博・佐藤憲一郎・斎藤努
清水正明・間瀬正啓・藤澤克樹・神山直之

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

平成29年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
プロジェクト研究 研究集会 (I)
防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて

編集：瀧澤重志, 小林和博, 佐藤憲一郎, 斎藤努, 清水正明, 間瀬正啓,
藤澤克樹, 神山直之

About MI Lecture Note Series

The Math-for-Industry (MI) Lecture Note Series is the successor to the COE Lecture Notes, which were published for the 21st COE Program “Development of Dynamic Mathematics with High Functionality,” sponsored by Japan’s Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT) from 2003 to 2007. The MI Lecture Note Series has published the notes of lectures organized under the following two programs: “Training Program for Ph.D. and New Master’s Degree in Mathematics as Required by Industry,” adopted as a Support Program for Improving Graduate School Education by MEXT from 2007 to 2009; and “Education-and-Research Hub for Mathematics-for-Industry,” adopted as a Global COE Program by MEXT from 2008 to 2012.

In accordance with the establishment of the Institute of Mathematics for Industry (IMI) in April 2011 and the authorization of IMI’s Joint Research Center for Advanced and Fundamental Mathematics-for-Industry as a MEXT Joint Usage / Research Center in April 2013, hereafter the MI Lecture Notes Series will publish lecture notes and proceedings by worldwide researchers of MI to contribute to the development of MI.

October 2014
Yasuhide Fukumoto
Director
Institute of Mathematics for Industry

序文

防災や避難にかかわる情報システム技術の応用は、阪神淡路大震災や東日本大震災などの大規模災害を契機として関心が深まり、徐々に普及が進んできている。それらのコアとなる数理モデリング技術は多種多様である。本研究が主な対象とする避難にかかわる数理モデルに限ってもいくつかのジャンルがあり、それらの分野間の交流はあまり多くはない。例えば我々は、ネットワークフローに基づく離散アルゴリズムの応用分野として避難計画問題を捉えている。一方、より一般的な避難計画を中心とする防災分野では、マルチエージェントなどに基づく避難シミュレーションを基盤としていることが多く、それを活用したソフトウェアの販売やコンサルティングも、既に民間企業を中心としてなされている。しかしこの分野も未だ発展途上であり、様々な実験やより高度なモデリングの技術開発が進んでいる。

このような背景から本研究集会では、主に避難に関わる数理モデル化と応用を主なテーマとしつつ、それに関わる様々なジャンルの研究の最前線や企業も含めた応用の現状を、招待講演と一般講演の形で紹介し、それぞれについて議論を行った。

まず、5名の招待講演者による講演では、まず、マルチエージェントシステムの基礎から実験も含めた最近の展開について柳澤氏から説明がなされた。最後の安福氏は、避難シミュレーションを対象としてマルチエージェントシステムの基礎から応用までの紹介がなされた。一方、数理計画のアプローチとしては、Wang氏が災害復旧過程の最適化について紹介し、Pedro氏は複数の航空機の一斉着陸問題の最適化を最速フローのアプローチで効率的に解く方法を紹介した。品野氏は確率計画問題を大規模な並列計算機で計算する枠組みと事例の紹介を行った。

一般講演では、避難完了時間を短縮する避難領域の分割手法（山本氏）、CNNを用いた最速フローの避難完了時間の推定（田中氏、秦氏）、大阪市からの大規模な一斉徒歩帰宅シミュレーション（川岸氏）、防災用の共助アプリの開発（末松氏）、都市OSの枠組みと防災対応（藤澤氏）など多岐に渡るものであった。

本研究集会では、異なる専門分野や立場を有した参加者が活発に議論を行い、他分野でのモデリング手法や社会実装の勘所や難しさを学び、相互理解が進むとともに、両者の手法を取り入れた新たな数理的方法の可能性を探る契機が得られた。

本会議録は、以上の研究集会の成果を纏めたものである。

瀧澤 重志（大阪市立大学工学研究科）

小林 和博（東京理科大学理工学部）

佐藤 憲一郎（関東学院大学工学研究科）

斎藤 努（株式会社ビープラウド）

清水 正明（株式会社日立製作所 研究開発グループ）

間瀬 正啓（株式会社日立製作所 研究開発グループ）

藤澤 克樹（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所）

神山 直之（九州大学マス・フォア・インダストリ研究所）

防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて
Advancement of Mathematical Model of Disaster Prevention and
Evacuation Planning toward Social Implementation

日時： 2017年11月30日(木)14:30 ~ 12月1日(金)15:55
場所： 〒814-0002 福岡市早良区西新2-16-23
九州大学 西新プラザ 大会議室 AB
URL : <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/events/view/2180>

【プログラム】

11月30日(木)

- 14:30 - 15:00 受付
15:00 - 15:05 開会の挨拶

15:05 - 16:05 招待講演 1
柳澤 大地 (東京大学先端科学技術センター)
「物理学者が考えた避難モデルとその応用」

16:05 - 17:05 招待講演 2
I-Lin Wang (National Cheng Kung University, 国立台湾成功大学)
「Network restoration scheduling in humanitarian logistics management」

12月1日(金)

- 09:30 - 10:00 受付

10:00 - 11:00 招待講演 3
Maristany de las Casas, Pedro (The Zuse Institute Berlin: ZIB)
「Airspace Evacuation Strategies」

11:00 - 12:00 一般講演 1(20分*3題)
◇山本 遼, 瀧澤 重志 (大阪市立大学大学院工学研究科)
「dynamic tree network による避難完了時間を最小化する
梅田地下街の垂直避難領域の分割手法」
◇田中 智, 秦 希望(九州大学大学院数理学府)
藤澤 克樹 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)
「深層学習とネットワークフローを用いた避難計画に対するアプローチ」
◇川岸 裕, 瀧澤 重志 (大阪市立大学大学院工学研究科)
「大阪市における大地震時の徒歩帰宅行動シミュレーション」

13:00 - 14:00 招待講演 4

品野 勇治 (The Zuse Institute Berlin: ZIB)

「Solving Extremely Large Stochastic Mixed-Integer Programs in Parallel
on Distributed Memory Computing Environments」

14:00 - 14:40 一般講演 2(20分*2題)

◇末松 孝司 (株式会社ベクトル総研)

「内閣府 SIP「共助アプリ」の開発と社会実装の取り組み」

◇藤澤 克樹 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)

「ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用」

14:50 - 15:50 招待講演 5

安福 健祐 (大阪大学サイバーメディアセンター)

「エージェントベースモデルによる避難シミュレーション精緻化の動向」

15:50 - 15:55 閉会の挨拶

【組織委員】

瀧澤 重志 (大阪市立大学工学研究科)

小林 和博 (東京理科大学理工学部)

佐藤 憲一郎 (関東学院大学工学研究科)

斎藤 努 (株式会社ビープラウド)

清水 正明 (日立製作所 研究開発グループ)

間瀬 正啓 (日立製作所 研究開発グループ)

藤澤 克樹 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)

神山 直之 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)



平成29年度 九州大学IMI 共同利用・研究集会 (I)

防災・避難計画の数理モデルの 高度化と社会実装へ向けて

Advancement of Mathematical Model of Disaster Prevention and
Evacuation Planning toward Social Implementation

<http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/events/view/2180>

日時：2017年11月30日(木)～12月1日(金)

場所：九州大学西新プラザ 大会議室AB
〒814-0002 福岡市早良区西新2-16-23

招待講演者：

I-Lin Wang (National Cheng Kung University, 国立台湾成功大学)

Maristany de las Casas, Pedro (The Zuse Institute Berlin: ZIB)

品野 勇治 (The Zuse Institute Berlin: ZIB)

柳澤 大地 (東京大学先端科学技術センター)

安福 健祐 (大阪大学サイバーメディアセンター)

九州大学IMI 共同利用・平成29年度プロジェクト研究

「よりよい都市・社会の構築のための基盤技術としての離散最適化の研究」

プロジェクト代表者：小林 和博 (東京理科大学), 神山 直之 (九州大学)



組織委員：

瀧澤 重志 (大阪市立大学工学研究科)

小林 和博 (東京理科大学理工学部)

佐藤 憲一郎 (関東学院大学工学研究科)

斎藤 努 (株式会社ビーブラウド)

清水 正明 (株式会社日立製作所 研究開発グループ)

間瀬 正啓 (株式会社日立製作所 研究開発グループ)

藤澤 克樹 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)

神山 直之 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)

運営に関する問い合わせ先： evac@graphics.arch.eng.osaka-cu.ac.jp

問い合わせ先：九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
TEL: 092-802-4408 E-mail: kyodo_riyou@imi.kyushu-u.ac.jp

Table of Contents

【招待講演】

物理学者が考えた避難モデルとその応用	1
柳澤 大地 (東京大学先端科学技術センター)	
Network restoration scheduling in humanitarian logistics management	19
I-Lin Wang (National Cheng Kung University, Tainan City, Taiwan)	
Airspace Evacuation Strategies	28
Maristany de las Casas, Pedro (The Zuse Institute Berlin: ZIB, Berlin, Germany)	
Solving Extremely Large Stochastic Mixed-Integer Programs in Parallel on Distributed Memory Computing Environments	48
Yuji Shinano (The Zuse Institute Berlin: ZIB, Berlin, Germany)	
エージェントベースモデルによる避難シミュレーション精緻化の動向	67
安福 健祐 (大阪大学サイバーメディアセンター)	

【一般講演】

dynamic tree network による避難完了時間を最小化する梅田地下街の 垂直避難領域の分割手法	97
山本 遼 (大阪市立大学大学院工学研究科)	
joint work with 瀧澤 重志	
深層学習とネットワークフローを用いた避難計画に対するアプローチ	107
田中 智 (九州大学大学院数理学府)	
joint work with 秦 希望 (同上), 藤澤 克樹(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)	
大阪市における大地震時の徒歩帰宅行動シミュレーション	114
川岸 裕 (大阪市立大学大学院工学研究科)	
joint work with 瀧澤 重志 (同上)	
内閣府 SIP「共助アプリ」の開発と社会実装の取り組み	125
末松 孝司 (株式会社ベクトル総研)	
ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその応用	131
藤澤 克樹 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所)	

【招待講演】

物理学者が考えた避難モデルとその応用

柳澤 大地

東京大学先端科学技術センター
東京, 日本

物理学者が考えた避難モデルとその応用

- 物理学者が考えたモデル
 - Social Force Model
 - Totally Asymmetric Simple Exclusion Process (TASEP) (1D Cellular Automaton)
 - Floor Field Model
- 応用例
 - 流動係数と障害物
 - 排他待ち行列
 - 歩行距離を導入した待ち行列
 - 遅いリズムに合わせた歩行

柳澤大地 @東大 先端研

- 研究テーマ
- 群集運動
 - セルオートマトン(の応用)
 - 待ち行列理論(の応用)

様々な群集運動と研究分野

大群集

退出

双方向流

待ち行列


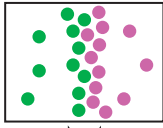
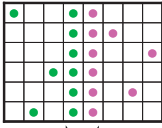
目標: 安全性の向上とストレスの軽減

<数学・物理による群集運動の研究(2000年〜)>

- ◆ モデルの一般化、創発現象などの説明、理論解析
- ◆ 人を自己駆動粒子として扱う

興味深い現象を利用して混雑解消を目指す!

群集運動の数理解物理的モデル

モデル	1. マクロ (流体モデル)	2. ミクロ 連続空間 (Social Force Model)	3. ミクロ 離散空間 (セルオートマトン)
人	連続体	粒子	粒子
空間	連続	連続	離散
ダイナミクス	流体の微分方程式	運動方程式	ルール
対向流の 模式図 (真ん中で デッドロック している)	 密度小 密度大 密度小	 ● → ← ●	 ● → ← ● 57

Social Force Model

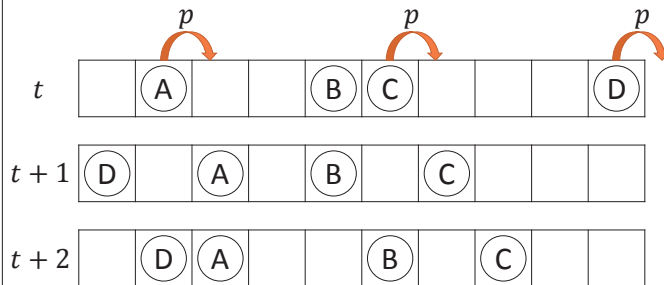
Interaction Force from other pedestrians

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = m_i \frac{v_i^0(t) e_i^0(t) - v_i(t)}{\tau_i} + \sum_{j \neq i} f_{ij} + \sum_W f_{iW}$$

Desired Velocity Reaction Time

Acceleration Interaction Force from walls and obstacles

1次元確率セルオートマトン (非対称単純排他過程 TASEP)



- 確率 p で右隣のセルに移動していく
- 右隣のセルに別の粒子がいたら移動できない
- 上図は、周期境界

歴史と応用例

• Protein composition
process of Ribosomes on
mRNA (1968)

• Matrix-products ansatz,
Bethe ansatz による厳密解
(1990 年代)

$$\langle W|E = \frac{1}{\alpha} \langle W|$$

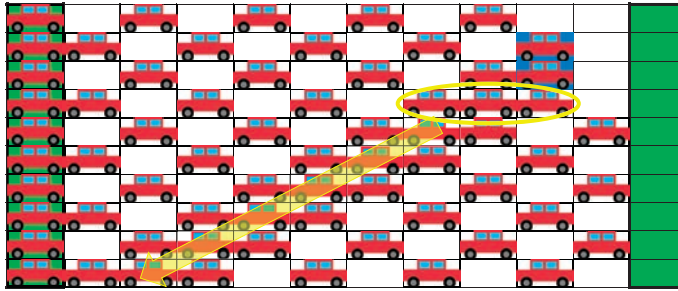
$$DE = D + E$$

$$D|V \rangle = \frac{1}{\beta} |V \rangle$$

• Bursting of housing bubble
(2010)

渋滞クラスターの後方への移動の再現

- ◆ 左端1、右端0の開放境界(端は繋がっていない)
- ◆ 先頭の車が減速して2ステップ止まってしまったとき・・



- ◆ 極めてシンプルなモデルにも関わらず、渋滞クラスターが後方に移動していく性質を再現可能！

群集運動への応用(1次元)

(人が道を左から右に歩いて行くモデル)



- | | |
|---|---|
| <長所> | <短所> |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ ルールベース ■ 排除体積効果 ■ 確率の導入 ■ シミュレーションが容易 ■ 理論計算が可能 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 細かい動きが表現できない <p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 定性的な性質・改善策をシンプルに説明・提案 |

Floor Field Cellular Automaton Model for Evacuation

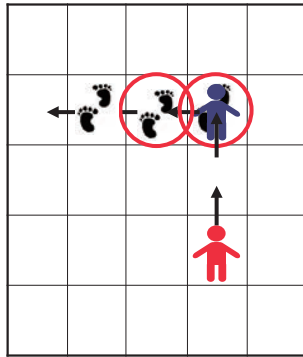
- ◆ Hopping probability
 $p_{\text{dir}} = N \exp(-k_s S_{\text{dir}})$

2		E_0	1	2
$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}$		$\frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$
$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$	2	$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$
$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$	○	○	○	$\frac{\sqrt{5}}{2\sqrt{2}}$
$\frac{2\sqrt{2}+2}{2\sqrt{2}}$	$\frac{2\sqrt{2}+3}{2\sqrt{2}}$	$\frac{2\sqrt{2}+4}{2\sqrt{2}}$	$\frac{2\sqrt{2}+3}{2\sqrt{2}}$	$\frac{2\sqrt{2}+2}{2\sqrt{2}}$

- $\text{dir} = \{\uparrow, \downarrow, \rightarrow, \leftarrow, \text{stay}\}$
- N : Normalization
- k_s : Sensitivity parameter ($k_s \rightarrow \infty$)
- S_{dir} : Static floor field (Distance to the exit)

- ◆ Only one pedestrian can enter in one cell.

Dynamic Floor Field D



$$p_x = N \exp(-k_s S_x + k_d D_x),$$

$$D_x \in \mathbf{R}$$

- ◆ D is the number of footprints.
- ◆ Pedestrians leave a footprint.
- ◆ Pedestrians tend to move a cell which contains large D .
- ◆ D diffuses and decays.

$$D_{here}^{t+1} = (1-\alpha)(1-\delta)D_{here}^t + \frac{\alpha(1-\delta)}{4} \sum_{x \neq here} D_x^t$$

- ◆ D mimics the long-range interaction by short-range one.

Basic Features of Collective Behaviors of Pedestrians

- ◆ Arch Formation at an Exit
- ◆ Oscillation of Flow at a Bottleneck
- ◆ Lane Formation of Counterflow at a corridor

Both the Social Force Model and the Floor Field Model can reproduce these collective behaviours.

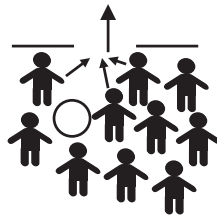
Advantage (Disadvantage) of the Social Force Model and the Floor Field Model

- ◆ Advantage of the **Social Force Model**
 - ◆ Detailed Movement
- ◆ Advantage of the **Floor Field Model**
 - ◆ Exclusive Volume Effect
 - ◆ Fast Calculation Time
 - ◆ Theoretical Analysis

応用

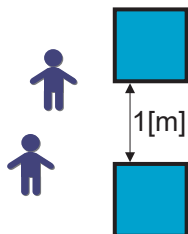
- 流動係数と障害物
- 排他待ち行列
- 歩行距離を導入した待ち行列
- 遅いリズムに合わせた歩行

流動係数と障害物 Pedestrian Outflow and Obstacle



- Phys. Rev. E, 76(6), 061117, 2007
- Phys. Rev. E, 80(3), 036110, 2009
- SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, 3(6), pp. 395-401, 2010

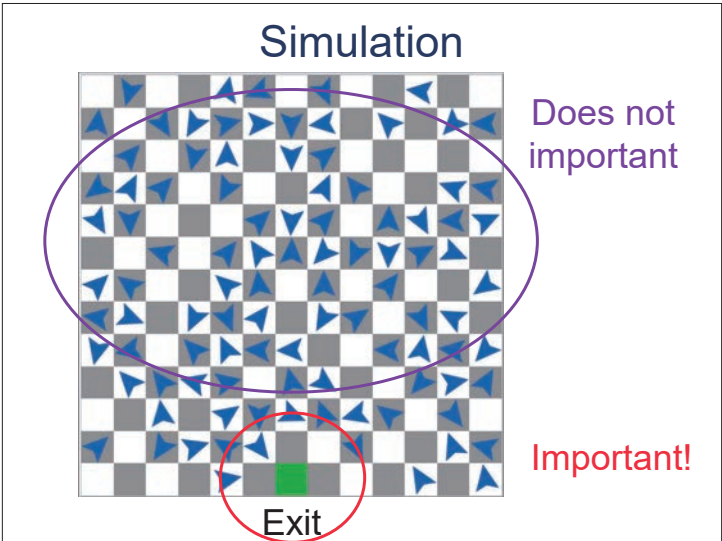
Pedestrian Outflow (POF)



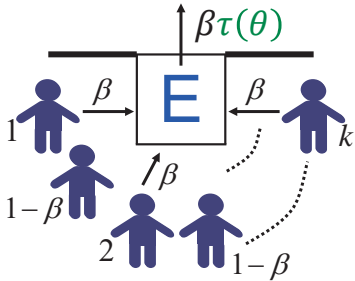
$$\text{Time} = 0.25 \text{ [sec]}$$

$$\text{POF} = 0.25 \text{ [persons/(m}\cdot\text{sec)]}$$

- ◆ Pedestrian Outflow (POF) is the number of pedestrians, who go through an 1 [m] exit in 1 [sec].
- ◆ POF greatly affects **Total Evacuation Time**.
- ◆ Large POF = Small Total Evacuation Time.
- ◆ Motivation 1: How to estimate POF for various cases?
- ◆ Motivation 2: How to increase POF?



Mathematical Formulation for POF

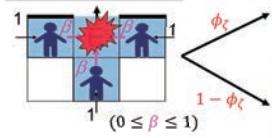


- ◆ There are n pedestrians around the Exit cell.
- ◆ k pedestrians are trying to move to there.
- ◆ No cell structure (lattice). (n determines the cell structure.)

$$\text{POF: } q(n, \theta) = \left[\frac{1}{r(n)} + \frac{1}{n\beta} \sum_{m=1}^n \frac{1}{\tau(\theta_m)} \right]^{-1} \begin{cases} r(n) = \sum_{k=1}^n [(1 - \phi_\zeta(k))b(k)] \\ b(k) = \binom{n}{k} \beta^k (1 - \beta)^{n-k} \end{cases}$$

Two Important Factors in Evacuation through an Narrow Exit

1. Conflicts



Friction Function

$$\phi_\zeta(k) = 1 - (1 - \zeta)^k - k\zeta(1 - \zeta)^{k-1}$$

$\zeta \in [0, 1]$: Aggressive parameter
 $k \in \mathbb{N}$: Number of pedestrians move to an exit at the same time

2. Turning

When pedestrians turn θ at the exit cell, their walking speed decrease.

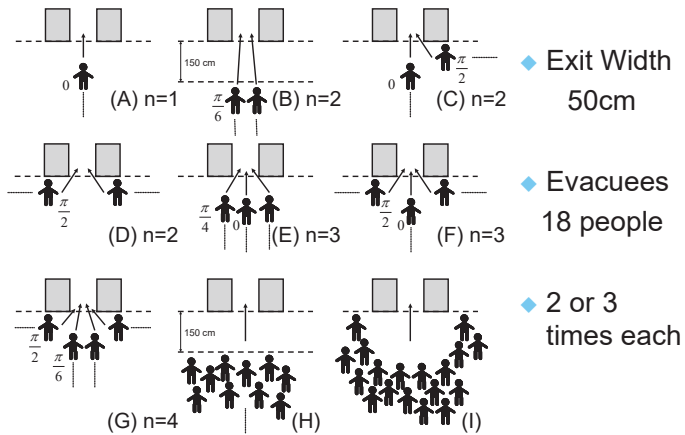
Turning Function

$$\tau(\theta) = \exp(-\eta|\theta|) \in (0, 1]$$

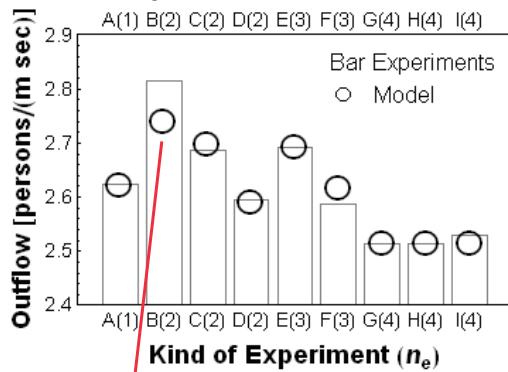
$\eta \in [0, \infty)$: Inertia coefficient
 $\theta \in [-\pi, \pi]$: Turning angle

$$\beta \rightarrow \beta\tau(\theta)$$

Schematic View of the Experiments

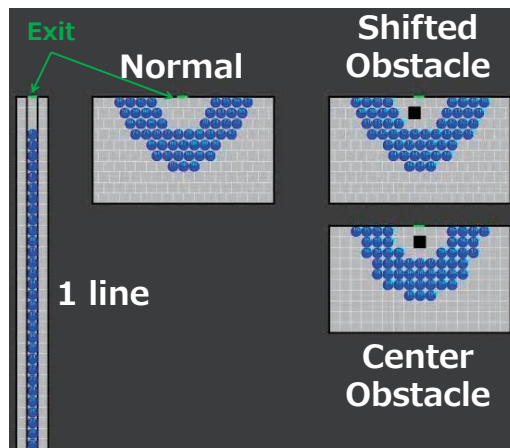


Theory v.s. Experiment

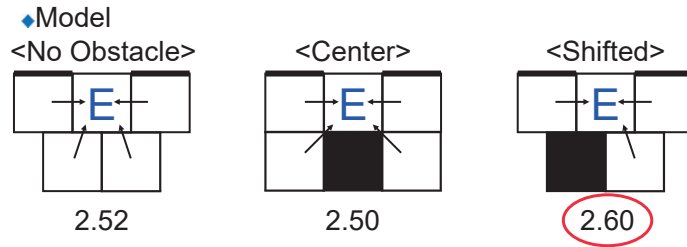


Zipper merging
(Almost 1 lane)

Quiz Which is the fastest?



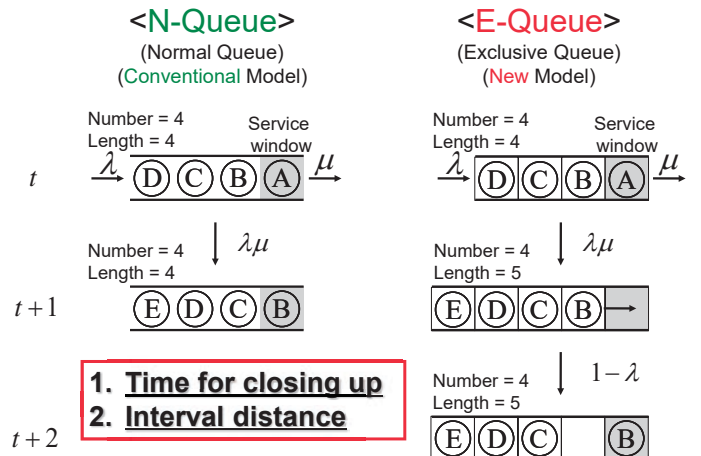
Effect of an Obstacle



排他待ち行列過程 Exclusive Queueing Process

- JSIAM Letters, 2, pp. 61-64, 2010
- J. Stat. Phys., 141(5), pp. 829-847, 2010

N-Queue & E-Queue



Balance Equations of E-Queue (Master Equations in the Stationary State)

$$\begin{aligned}
 P_0 &= (1-\lambda)P_0 + (1-\lambda)\mu P_A(1,0), \\
 P_A(1,0) &= \lambda P_0 + (1-\lambda)(1-\mu)P_A(1,0) + (1-\lambda)P_B(1,0), \\
 P_A(n,m) &= \lambda(1-\mu)P_A(n-1,m) + (1-\lambda)(1-\mu)[P_A(n,2m) + P_A(n,2m+1)] \\
 &\quad \text{(Group A1: } n \geq 2, 0 \leq m \leq 2^{n-2} - 1), \\
 P_A(n,m) &= \lambda P_B(n-1, m-2^{n-2}) + (1-\lambda)[P_B(n, 2(m-2^{n-2})) + P_B(n, 2(m-2^{n-2})+1)] \\
 &\quad \text{(Group A2: } n \geq 2, 2^{n-2} \leq m \leq 2^{n-1} - 1), \\
 P_B(n,m) &= \lambda\mu P_A(n,m) + (1-\lambda)\mu[P_A(n+1, 2m) + P_A(n+1, 2m+1)] \\
 &\quad \text{(Group B: } n \geq 1).
 \end{aligned}$$

Number of pedestrians in a queue,
Length of a queue, and Waiting time
are **exactly** obtained.

Convergence Condition

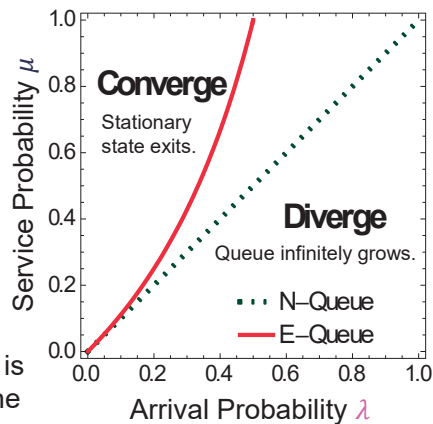
N-Queue

$$\lambda < \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} < 1 \right)$$

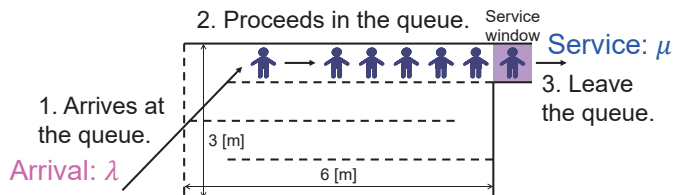
E-Queue

$$\lambda < \frac{\mu}{1+\mu} (< \mu)$$

E-Queue's condition is severe because of the **time for closing up**.



Experiment

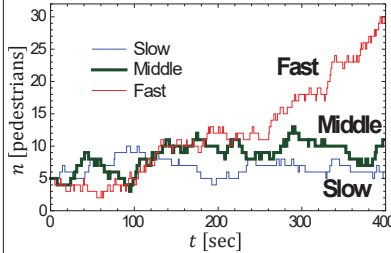


Name	Slow (Slow arrival and service)	Middle	Fast (Fast arrival and service)
Inter-arrival time ($1/\lambda$)	15 [sec]	9.47 [sec]	5 [sec]
Service ($1/\mu$)	12 [sec]	7.58 [sec]	4 [sec]

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = 0.8$$

Which Convergence Condition is More Realistic?

N-Queue $\lambda < \mu$ $\left(\frac{\lambda}{\mu} < 1\right)$ E-Queue $\lambda < \frac{\mu}{1 + \mu}$

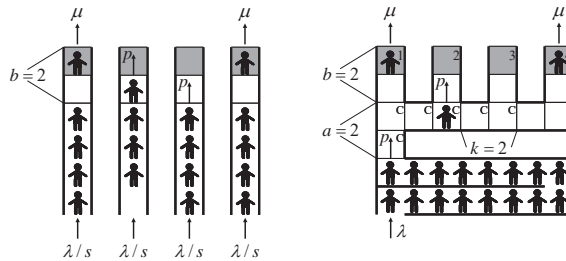


◆ In Fast case,
 $\lambda = 0.2, \mu = 0.25, \frac{\mu}{1 + \mu} = 0.2$

N-Queue's condition: ○
 E-Queue's condition: ×

⇒ E-Queue is more realistic!

歩行距離を導入した待ち行列 Walking-Distance introduced Queueing Model

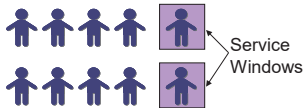


● Transportation Research Part C: Emerging Technologies,
 In Press, DOI: 10.1016/j.trc.2013.04.008

Which type is more efficient?

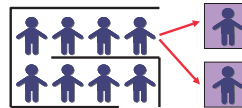
=Waiting time is short.

<Parallel>



(ex. Checkout counters
 in a supermarket)

<Fork>



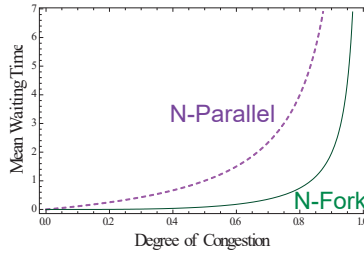
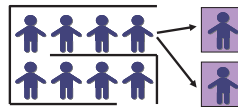
(ex. Automated teller
 machines in a bank)

Conclusion from "Normal" Queueing Theory

N-Parallel



N-Fork



N-Fork is better!

Quiz Which waiting time is shorter?

<Parallel>

<Fork>



<D-Fork>

(Distance introduced Fork)

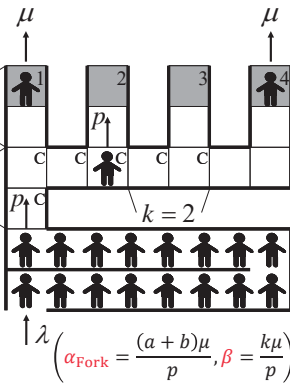
- ◆ Number of windows $s = 4$
- ◆ Distance to the window n $d_n = a + b + k(n - 1)$
- ◆ Mean transit time to pass the window n

$$T_n = \underbrace{\left(\frac{d_n}{p}\right)}_{\text{Waking time}} + \underbrace{\left(\frac{1}{\mu}\right)}_{\text{Service time}}$$

Waking time $\frac{d_n}{p}$ + Service time $\frac{1}{\mu}$

- ◆ Mean transit rate to pass the window n

$$\bar{\mu}_n = \frac{1}{T_n} = \mu [1 + \alpha_{\text{Fork}} + \beta(n - 1)]^{-1}$$




$$\lambda \left(\alpha_{\text{Fork}} = \frac{(a+b)\mu}{p}, \beta = \frac{k\mu}{p} \right)$$


- ◆ $\alpha_{\text{Fork}} = \beta = 0 \rightarrow \text{N-Fork}$

Balance Equations

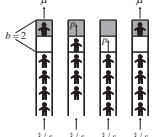
P_n : Probability of n pedestrians are waiting.

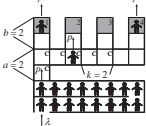
◆ Normal Model: **Ideal** model for pedestrian queues.

<N-Parallel>  $\lambda P_0 = \mu P_1$
 $\lambda P_{n-1} + \mu P_{n+1} = (\lambda + \mu) P_n \quad (n \geq 1)$

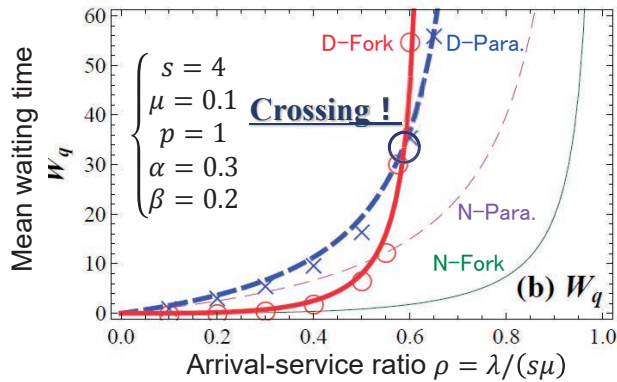
<N-Fork>  $\lambda P_0 = \mu P_1$
 $\lambda P_{n-1} + (n+1)\mu P_{n+1} = (\lambda + n\mu) P_n \quad (1 \leq n \leq s-1)$
 $\lambda P_{n-1} + s\mu P_{n+1} = (\lambda + s\mu) P_n \quad (n \geq s)$

◆ Distance Model: **Realistic** model for pedestrian queues.

<D-Parallel>  $\lambda P_0 = \bar{\mu}_1 P_1$
 $\lambda P_{n-1} + \bar{\mu}_1 P_{n+1} = (\lambda + \bar{\mu}_1) P_n \quad (n \geq 1)$

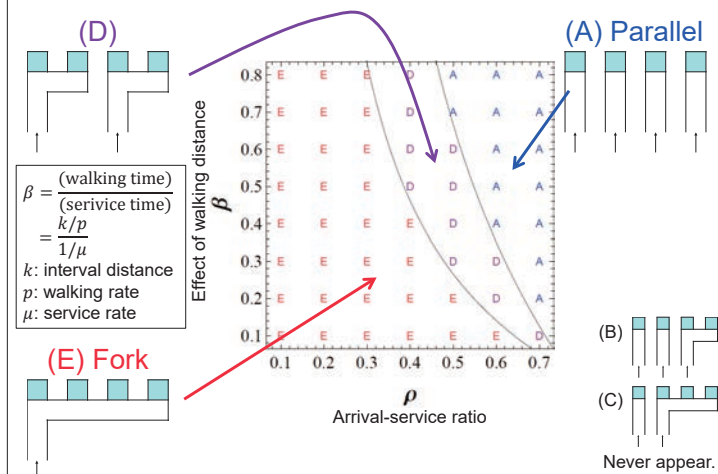
<D-Fork>  $\lambda P_0 = \bar{\mu}_1 P_1$
 $\lambda P_{n-1} + (n+1)\bar{\mu}_{n+1} P_{n+1} = (\lambda + n\bar{\mu}_n) P_n \quad (1 \leq n \leq s-1)$
 $\lambda P_{n-1} + s\bar{\mu}_s P_{n+1} = (\lambda + s\bar{\mu}_s) P_n \quad (n \geq s)$

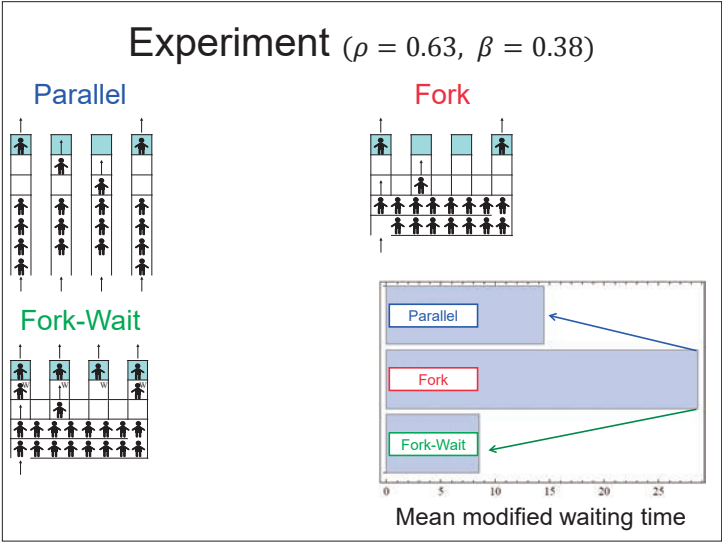
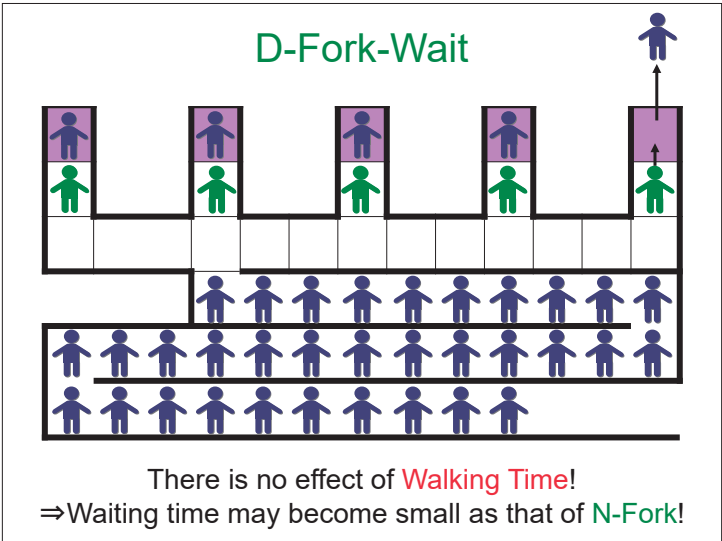
Reversal of Mean Waiting Time W_q



When the queuing system is congested D-Parallel's W_q becomes smaller than D-Fork's!

Suitable Type of Queueing System





Walking on Music

Music Tempo v.s. Pace

Pace v.s. Velocity

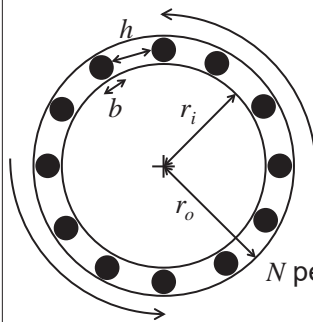
Music Tempo $\hat{=}$ Pace

Velocity \propto Pace

Frederik Styns *et al*, Walking on Music, Human Movement Science, 26, 769, 2007.

Rhythm can control walking velocity of single pedestrian.
What happens in a crowd case?

Circuit and Model



Parameters

◆ Length of the circuit: L

◆ Density $\rho = \frac{L}{N}$

◆ Headway Distance $h = \frac{L-bN}{N}$

◆ $\therefore h(\rho) = \frac{1-b\rho}{\rho}$

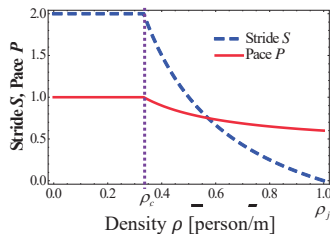
N pedestrians

Assumptions

◆ Overtaking is prohibited.

◆ Both characteristics and distribution of pedestrians are homogeneous.

Stride Function S and Pace Function P



$$V(\rho) = S(\rho) \cdot P(\rho)$$

Velocity Stride Pace

$$b=1, s=2, k=1, \quad \left(\rho_c = \frac{k}{kb+s}, \rho_j = \frac{1}{b} \right)$$

$$p=1, a=0.2$$

Low-density regime

◆ $\rho \in [0, \rho_c]$

◆ $\begin{cases} S(\rho) = s \\ P(\rho) = p \end{cases}$

High-density regime

◆ $\rho \in [\rho_c, \rho_j]$

◆ $\begin{cases} S(\rho) = kh(\rho) \\ P(\rho) = p - a(h(\rho_c) - h(\rho)) \end{cases}$

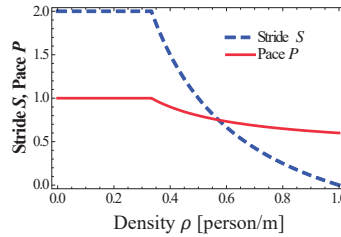
$k \in (0,1]$: Effect of personal space
 $a \leq kp/s$: Effect of density on pace

Normal and Rhythmic Walking

Normal Walking

$$a > 0$$

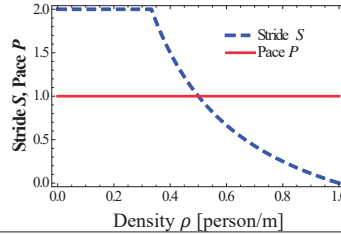
Pace decreases in the high-density regime.



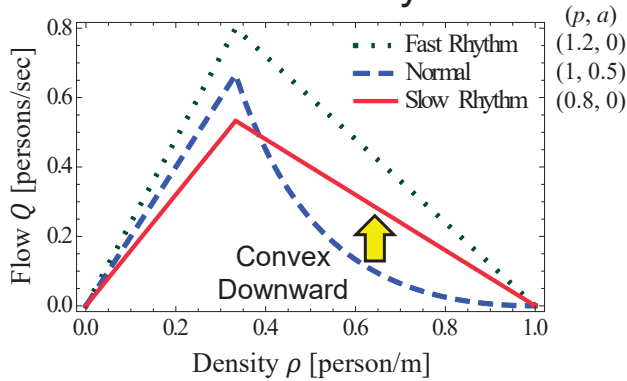
Rhythmic Walking

$$a = 0$$

Pace does not change in the high-density regime.

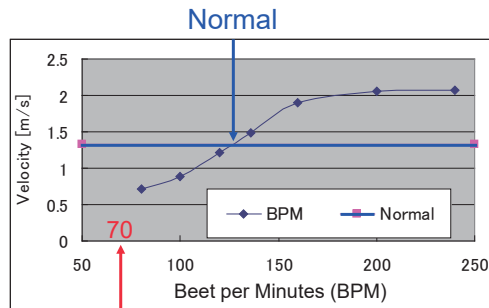


Theoretical Analysis



- ◆ Fast Rhythm increases the pedestrian flow.
- ◆ Slow Rhythm improves the flow in the high-density regime.

Single Pedestrian Walking with Rhythm



Slow Rhythm

Normal v.s. 70 BPM (Number = 6, Density = 0.47 [1/m])

Normal

70 BPM



$$\begin{cases} r_i = 1.8 \text{ [m]} \\ r_o = 2.3 \text{ [m]} \end{cases}$$

Normal v.s. 70 BPM (Number = 24, Density = 1.86 [1/m])

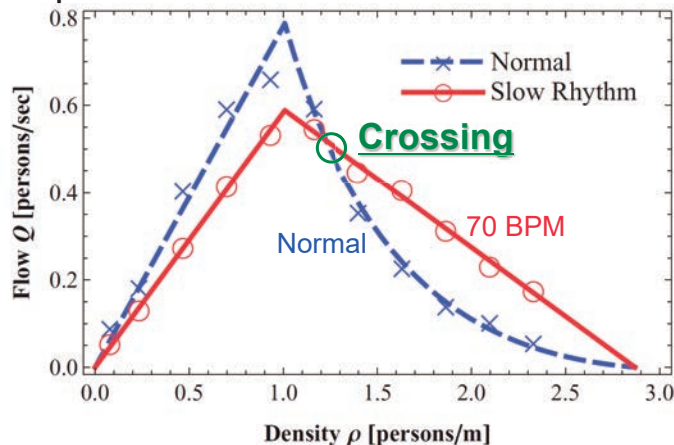
Normal

70 BPM



$$\begin{cases} r_i = 1.8 \text{ [m]} \\ r_o = 2.3 \text{ [m]} \end{cases}$$

Experimental and Theoretical Results



◆ Slow rhythm improves the flow in the high-density regime.

Conclusion

- Pedestrian Outflow and Obstacle
Conflicts and Turning affects the pedestrian outflow.
Obstacle may improve pedestrian outflow.
- Exclusive Queueing Process
Excluded-volume effect is important in pedestrian queue.
- Walking-Distance Introduced Queueing Model
Suitable type of queueing system changes according to the arrival and service rates.
- Walking with Slow Rhythm
Density, Mobiles, and Rhythm affects walking velocity.
Slow uniform walking improves the pedestrian flow.

Network restoration scheduling in humanitarian logistics management

I-Lin Wang

National Cheng Kung University,
Tainan City, Taiwan

Underground Pipeline Network Restoration Scheduling Problems in Post-disaster Humanitarian Logistics

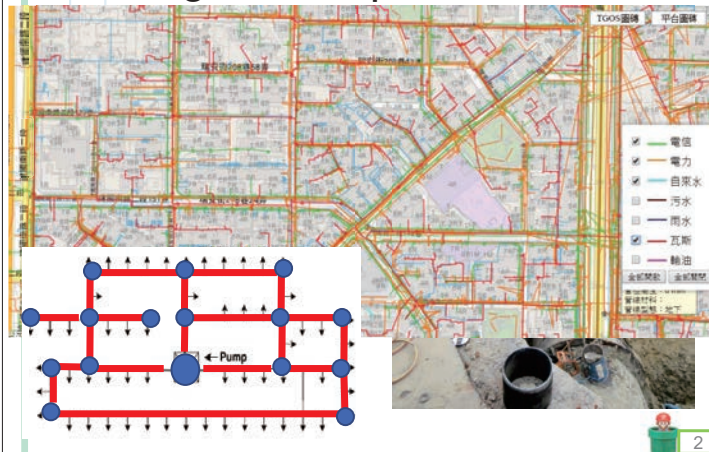
by

I-Lin Wang

Department of Industrial & Information Management
National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan

Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning
toward social implementation

Underground Pipeline Networks



Pipeline Damages

- Gas explosion at Kaohsiung (Jul. 2014)
 - 29,789 families no electricity
 - 23,642 families no gas
 - 13,500 families no water
 - 2,780 families no phone line
 - > 3 months to recover
- Earthquake at Tainan (Feb. 2016)
 - 117 casualties
 - >1 month no running water



Works to Restore a Pipeline Arc

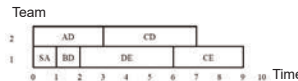
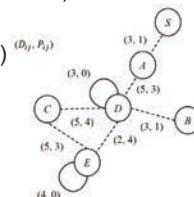
- A restoration team has to
 - excavate earth
 - close control valves
 - repair or replace pipeline
 - backfill earth
- Take days or even weeks
 - Worse for large-scale area



Arc Restoration Problem

- Given
 - A connected network with damaged arcs
 - w.l.o.g. assuming all arcs are damaged
 - Demands (D_{ij}) & restoration time (P_{ij}) for each arc (i,j)
 - Source nodes (accessible to outside flow)
 - Restoration team profile (capability, effectiveness)
- Assumption:
 - Nonpreemptive scheduling (no interruption)
 - 1 team for 1 arc at 1 time
- Objective
 - Minimize total waiting time

Network compacting



Resourced Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP)

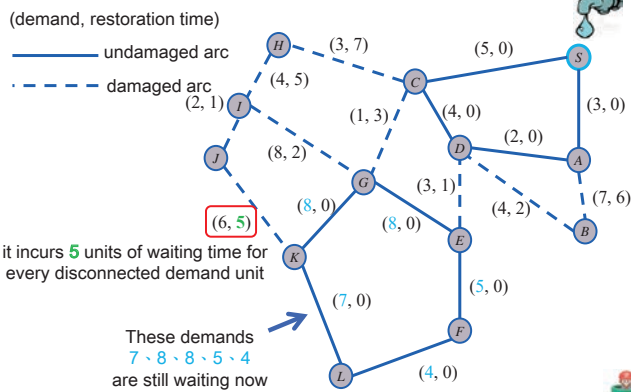
- Treat the network restoration as a project
 - An arc restoration as a task
- Resources:
 - manpower, budget, equipment, skill, energy
- Special RCPSP with network structure
- No clear precedence relation
 - Start from where?
 - By whom?
 - At what time?
- Connectivity between arcs matters



An Illustrative Example (1/2)



An Illustrative Example (2/2)



Literature Review

Problem Type	Reference
Maximum Flow	Kalinowski et al. (2015)
Min-cost Flow	Averbakh (2012) Matisziw et al. (2010) Xu et al. (2007) Cavdaroglu et al. (2013)
Shortest Path	Baxter et al. (2014)
Minimum Spanning Tree	Averbakh and Pereira (2012)



	Multi-teams	Satisfy Demands	Problem Type	Node or Arc demand
Averbakh (2012)	✓	✓	P_m MCF Cumulative & C_{max} -Threshold	Node
Averbakh and Pereira (2012)		✓	1 Node Connectivity Cumulative	Node
Kalinowski et al. (2015)			1 MCF Cumulative	Node
Baxter et al. (2014)			1 SP Cumulative	Node
Matisziw et al. (2010)		✓	1 MCF Cumulative & cost	Node
Xu et al. (2007)		✓	1 MCF Cumulative & C_{max} -Threshold	Node
Cavdaroglu et al. (2013)	✓		P_m MCF Cumulative	Node
Nurre and Sharkey (2014)	✓		P_m MCF, SP, MF Cumulative & C_{max} -Threshold	Node
Our work	✓	✓	P_m Arc connectivity Cumulative	Arc



10

Challenges

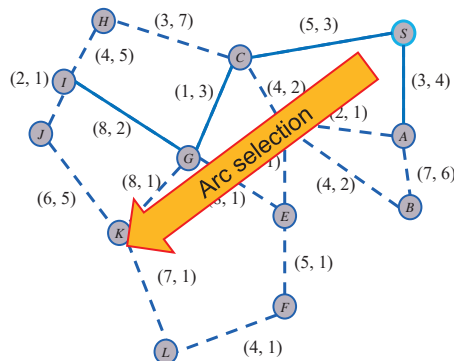
- Minimizing **total weighting time** is more difficult but necessary
 - Time space network expansion
 - RCPSP is already **NP-hard**
 - With general network structure
 - No clear precedence relations
 - Multiple** restoration teams
 - Parallel operations
- How about **single team?** outside → inside



11

Arc Selection Intuition for Single Team

Rule of Thumb: Always selecting a **boundary arc** to restore



12

Integer Program for Single Team (M^S)

$$\text{Min } \sum_{a \in A} D_a (f_a^A - M(1 - y_a)) \quad (1)$$

Can **NOT** be extended for Multi Teams

$$\sum_{t=0}^T x_{at} \geq f_{\text{min}(a)} - M(1 - y_a) \quad \forall a \in A \quad (3)$$

$$\sum_{t=0}^T (x_{at} + x_{bt}) = 1 \quad \forall a \in A \quad (4)$$

$$y_a = \sum_{t=0}^T x_{at} \quad \forall a \in A \quad (5)$$

$$z_{a-1} \leq z_a \leq \sum_{a \in A} \sum_{t=0}^T x_{at} \quad \forall i \in N, i \neq S, t = 1, \dots, T \quad (6)$$

$$z_{a-1} \leq z_a \quad \forall i \in S, t = 1, \dots, T \quad (7)$$

$$x_{at} \leq z_{\text{max}(a, \text{min}(T, t+1))} \quad \forall a \in A, t = 0, \dots, T \quad (8)$$

$$\sum_{t=0}^T z_t \geq 1 \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$f(z_a - z_{a-1}) \leq f_i^N \leq t + M(1 - (z_a - z_{a-1})) \quad \forall i \in N, t = 1, \dots, T \quad (10)$$

$$z_{a0} = 1 \quad \forall i \in S \quad (11)$$

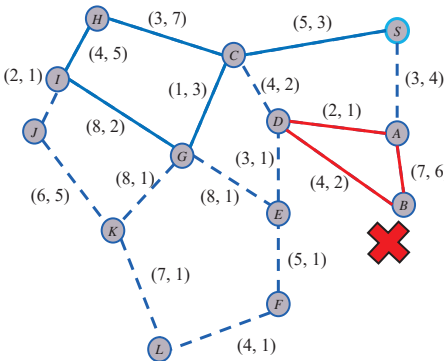
$$z_{a0} = 0 \quad \forall i \in N, i \neq S \quad (12)$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{t=\text{min}(t, T-1)}^T x_{at} \leq \bar{R} \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (13)$$



Arc Selection Intuition for Multi Team

- Q₁:** Besides boundary arcs, which other arc to be selected?
Q₂: After an arc restoration, How to update the arc accessibility ?



Integer Program for Multi Team based on Branch-and-Cut ($M_{B\&C}^m$)

Add cuts whenever necessary
 → Too time consuming

$$x_{at} = z_{at} \quad \forall a \in A_p, t = 0, \dots, T \quad (4)$$

$$\sum_{t=0}^T \sum_{a \in A_p} x_{at} \leq 1 \quad \forall a \in A_p \quad (5)$$

$$z_{at} - \sum_{s=0}^t (\alpha_{a,s,t} + \alpha_{a,s,t}) \leq 0 \quad \forall a \in A_p, t = 0, \dots, T \quad (8)$$

$$\sum_{a \in A_p} \sum_{s=0}^{\text{min}(T, t-1)} \alpha_{a,s,t} \leq 1 \quad \forall t = 0, \dots, T, r = 1, \dots, \bar{R} \quad (6)$$

$$\sum_{t=0}^T \alpha_{a,s,t} \leq 1 \quad \forall a \in A_p \quad (10)$$

$$\sum_{t=0}^T (t + P_r) x_{at} \geq \sum_{t=0}^T \alpha_{a,s,t} \quad \forall a \in A_p, r = 1, \dots, \bar{R} \quad (7)$$

$$\alpha_{a,s,t} = 0 \quad \forall a \in A_p, r = 1, \dots, \bar{R} \quad (9)$$

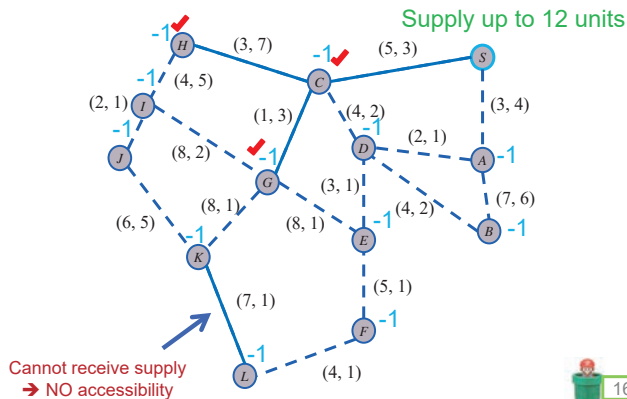
$$\sum_{a \in A, \text{min}(a, \text{min}(T, t+1))} x_{at} - B(\sum_{a \in A, \text{min}(a, \text{min}(T, t+1))} x_{at} + x_{aT}) \leq |p| - 1 \quad \forall t = 0, \dots, T \quad (11)$$

Subtour elimination



Multicommodity Flow IP Modeling Intuition

Check accessibility for a node by checking its -1 demand



16

Integer Program for Multi Team based on Multicommodity Flow (M_{MCF}^m)

$$\text{Min } \sum_{t=0}^T \sum_{a \in A_t \cup A_p} D_a(1 - y_{at} - y_{mt}) + \sum_{t=0}^T \sum_{i \in I} D_i^{loop} v_{it} \quad (1)$$

Better than $M_{B\&C}^m$, still not good enough
Tried adding new valid inequalities
but still time consuming

$$y_{at} \leq z_{at} \quad \forall a \in A_t \cup A_p, t = 0, \dots, T \quad (6)$$

$$y_{at} \leq v_{a(t)} \quad \forall a \in A_t \cup A_p, t = 0, \dots, T \quad (7)$$

$$z_{at} - \sum_{s=0}^t \alpha_{asr} \leq 0 \quad \forall a \in A_p, t = 0, \dots, T \quad (8)$$

$$\sum_{t=0}^{p_t-1} z_{at} = 0 \quad \forall a \in A_p \quad (9)$$

$$y_{at} + y_{mt} \leq 1 \quad \forall a \in A_p, t = 0, \dots, T \quad (10)$$

$$\sum_{t=0}^{p_t-1} \alpha_{asr} = 0 \quad \forall a \in A_p \quad (11)$$

$$\sum_{a \in A_p} \sum_{u=t}^{\min\{T, p_u-1\}} \alpha_{asr} \leq 1 \quad \forall r = 1, \dots, R, t = 0, \dots, T \quad (12)$$

17

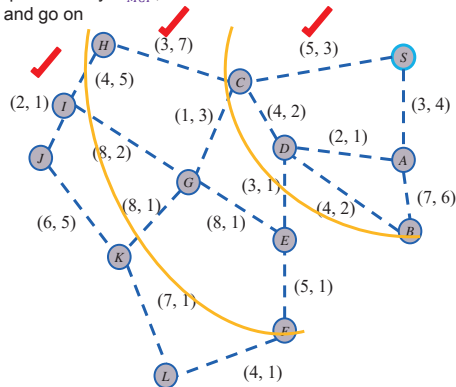
Design of Solution Methods

- Divide-and-Conquer
 - Sequential Segment Heuristic (SSH)
 - Partition planning horizon into smaller segments
 - Solve smaller problems by M_{MCF}^m , fix the result, and go on
- Greedy
 - Greedy Tree method (GT)
 - Greedy Connected Component method (GCC)

18

Sequential Segment Heuristic (SSH)

Partition the planning horizon into smaller segment
Solve smaller problems by M_{MCF}^M ,
fix the result, and go on

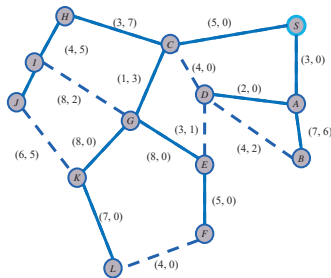


19

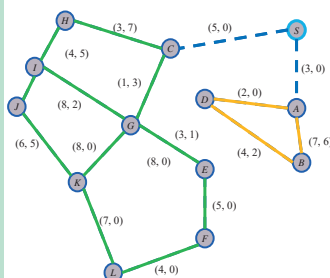
Greedy Algorithms

Select arc by its weight (e.g., D_{ij}/P_{ij} in decreasing order)

Greedy Tree (GT)



Greedy Connected Component (GCC)



20

Computational Experiments

- Environment settings
 - PC with UBUNTU 13.10, intel Core i7-4770 3.40GHz*8 Processor, 16 GB RAM
 - IP by [Gurobi 6.5.1](#), solved up to 10hr at most
 - Algorithms by C/C++
- Problem settings
 - # teams: 1, 2, 4
 - Tree graphs:
 - General graphs:

Network	#nodes	#arcs	Repaired time	Demands
$Tree_s$	[16, 20]	[15, 19]	[3, 5]	[3, 5]
$Tree_m$	[22, 30]	[21, 29]	[3, 5]	[3, 5]

Network	#nodes	#arcs	Repaired time	Demands
$General_s$	[16, 20]	[31, 41]	[3, 5]	[3, 5]
$General_m$	[25, 29]	[35, 47]	[3, 5]	[3, 5]

21

Improvement by Valid Inequalities

(13): if a perfect arc a connects to an accessible node, then a is also accessible.

- Add 4 valid inequalities

$$\sum_{\substack{a \in A_p \\ \text{head}(a)=i}} y_{at} \leq \text{IND}_i \cdot v_{it} \quad \forall i \in N, i \neq S, t = 0, \dots, T \quad (13)$$

$$z_{at} \leq z_{a,t+1} \quad \forall a \in A_p, t = 0, \dots, T-1 \quad (14)$$

$$y_{at} \leq y_{a,t+1} \quad \forall a \in A_p \cup A_p, t = 0, \dots, T-1 \quad (15)$$

$$v_{it} \leq v_{i,t+1} \quad \forall i \in N, t = 0, \dots, T-1 \quad (16)$$

- Performance of different combinations:

Optimal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Time (s)	192	238	244	301	360	374	482	498	3712	3865	4090	4333	4532	5720	7204	7205	
+ (13)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
+ (14)																	
+ (15)		✓															
+ (16)	✓																

22

Performance Comparisons

- Tree graphs

	teams	M_{MCF}^m	SSH	GCC
$Tree_s$	1	92.4s (0.00%)	7.4s (0.00%)	0s (0.06%)
	2	70.4s (0.00%)	0.4s (0.88%)	0s (0.12%)
	4	24.6s (0.00%)	0s (0.77%)	0s (0.88%)
$Tree_m$	1	1055.2s (0.00%)	89.2s (0.00%)	0.2s (0.05%)
	2	594s (0.00%)	4.6s (0.05%)	0s (0.12%)
	4	119.4s (0.00%)	0.2s (0.73%)	0s (0.56%)

- General graphs

	teams	M_{MCF}^m	SSH	GCC
$General_s$	1	357s (0.00%)	50.8s (0.00%)	0.2s (0.62%)
	2	417.8s (0.00%)	21s (0.04%)	0.2s (0.57%)
	4	252.8s (0.00%)	6.4s (0.16%)	0s (0.63%)
$General_m$	1	12050.4s (0.00%)	602.6s (0.00%)	0.6s (1.23%)
	2	5597.4s (0.00%)	154s (0.02%)	0.2s (1.18%)
	4	2985.2s (0.00%)	9.8s (0.77%)	0.6s (1.22%)

23

Conclusions

- Restore damaged pipelines ASAP are important to the QoL for refugee
- Pipeline arc restoration problem is a special RCPSP with network structure
- Propose a network compacting scheme
- Propose exact IP models (M^S , $M_{B\&C}^m$, M_{MCF}^m)
- Proposed efficient & effective heuristics (SSH, GT, GCC)

[Click Here](#)

24

Airspace Evacuation Strategies

Maristany de las Casas, Pedro

The Zuse Institute Berlin: ZIB
Berlin, Germany

Airspace Evacuation Strategies

Ralf Borndörfer, Christoph Grafe, Pedro M. Casas

01.12.2017



1

Zuse Institute Berlin <http://www.zib.de>



Description

Interdisciplinary research institute for applied mathematics and high-performance computing. Cooperations with academia and industry.

Research Units

- Numerical Analysis and Simulation
- Visualization and Data Analysis
- Optimization
- Scientific Information Systems
- High Performance Computing
- Computer Science Research

2

Intro

Problem Motivation

Yellow Ribbon Operation



4

When Airspaces Need to be Emptied

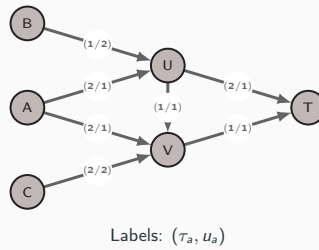


5

Intro

Flows Over Time Visualization

Flows Over Time or Dynamic Flows



6

Intro

Input and Problem Classes

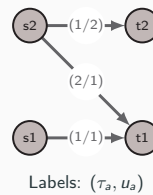
Dynamic Network

A dynamic Network...

$$\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, \mathcal{S}, \mathcal{T})$$

consists of

- a directed graph $D = (V, A)$
- a transit time function $\tau : A \rightarrow \mathbb{N}$
- a capacity function $u : A \rightarrow \mathbb{N}$
- a set of sources $\mathcal{S} \subset V$
- a set of targets $\mathcal{T} \subset V$



7

Problem Classes on Dynamic Networks

Given a network $\mathcal{N} := (D := (V, A), \tau, u, S, T)$

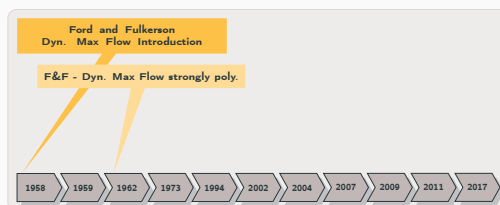
Problem	Extra Input	Objective	Evacuation
Max Flow	Time limit T	Max $S - T$ flow until T	-
Feasible d -Transshipment	T , Demands $d : S \cup T \rightarrow \mathbb{Z}$	d -Flow until T ?	-
Quickest d -Transshipment	Demands $d : S \cup T \rightarrow \mathbb{Z}$	Quickest d -Flow	+

8

Problem Classes

Dynamic Max-Flow

Topic Review – Dynamic Maximum Flow



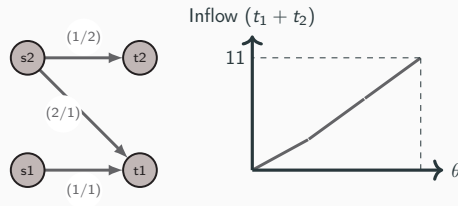
9

Example: Dynamic Max-Flow Problem

Given a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, S, T)$ and a time limit T ,

a **dynamic max-flow problem**

seeks to maximize the flow from S to T in \mathcal{N} within T unit of time.



Labels: (τ_a, u_a) , $T = 4$, $\theta = 4$

10

Dynamic Max-Flow Formulation

Time Dependent Max-Flow

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{a \in \delta^+(s)} \sum_{\theta \in \{0, \dots, T\}} x_a(\theta) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{a \in \delta^+(v)} x_a(\theta) = \sum_{a \in \delta^-(v)} x_a(\theta), \quad \forall v \in V \setminus \{s, t\}, \theta \in [T] \\
 & x_a(\theta) \leq c_a, \quad \forall a \in A, \theta \in [T] \\
 & x_a(\theta) \in \mathbb{N}, \quad \forall a \in A, \theta \in [T]
 \end{aligned}$$

11

Algorithms for Dynamic Max-Flow

Static Max-Flow on Time Expanded Network

- + Easy to understand and implement
- Size of Time Expanded Network not polynomial
- + Time Expanded Network can be manipulated in applications

→ Pseudo-Polynomial algorithm depending on T .

Temporarily Repeated Flow [Ford & Fulkerson 62]

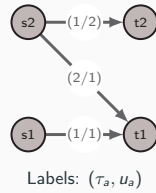
- + No graph transformation depending on T and strongly polynomial.

12

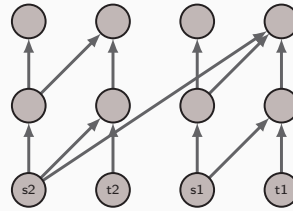
Time Expanded Network

For a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, S, \mathcal{T})$ and time limit T

Original Network



Time Expanded Network $T = 2$



13

Problem Classes

Feasible Dynamic Transshipment Problem

Problem Classes on Dynamic Networks

Given a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, S, \mathcal{T})$

Problem	Extra Input	Objective	Evacuation
Max Flow	Time limit T	Max $S - \mathcal{T}$ flow until T	-
Feasible d -Transshipment	T , Demands $d : S \cup \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{Z}$	d -Flow until T ?	-
Quickest d -Transshipment	Demands $d : S \cup \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{Z}$	Quickest d -Flow	+

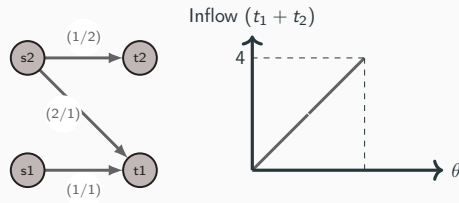
14

Example Dynamic Transshipment Problem

Given a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, S, \mathcal{T})$, a demand function $d : S \cup \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{Z}$, and an time limit T ,

a **dynamic transshipment problem**

seeks to find a flow in \mathcal{N} that satisfies d in at most T time units.

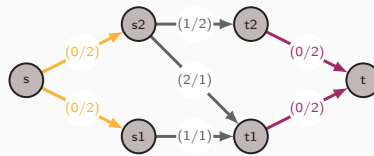


Labels: (τ_a, u_a) , $d(s_1) = 2$, $d(t_1) = -2$, $T = 3$, $\theta = 3$

15

Dyn. Transshipment Feasibility via Dynamic Max-Flow

Graph transformation for an instance \mathcal{I} of the Dynamic Transshipment Problem



Labels: (τ_a, u_a) , $d(s_1) = 2$, $d(t_1) = -2$, $T = 3$

\mathcal{I} is feasible iff

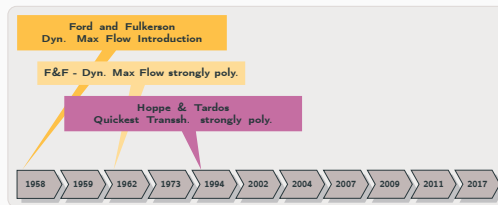
$$\maxFlow(s, t, T) \geq \sum_{s \in S} d(s)$$

16

Problem Classes

Quickest d -Transshipment Problem

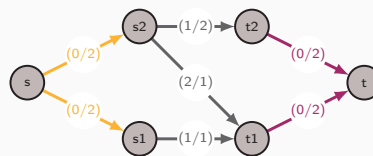
Topic Review – Quickest Transshipment



17

Quickest Transshipment via Dynamic Max-Flow

Graph transformation for an instance \mathcal{I} of the Dynamic Transshipment Problem



Labels: (τ_a, u_a) , $d(s_i) = 2$, $d(t_i) = -2$

Binary Search on T

Set $U = \text{bigM}$, $L = 0$, $T = \text{bigM}/2$ and run a binary search until T is the smallest value s.t. $\text{maxFlow}(s, t, T)$ is feasible.

18

Algorithms For Quickest Transshipment

Binary Search Algorithm

- + Easy to understand and implement
- + Uses time expanded network \rightarrow customizable modeling
- Uses time expanded network \rightarrow pseudo polynomial running time

Submodular Function min. and Lexicographically Maximum Flows [Hoppe, Tardos 94]

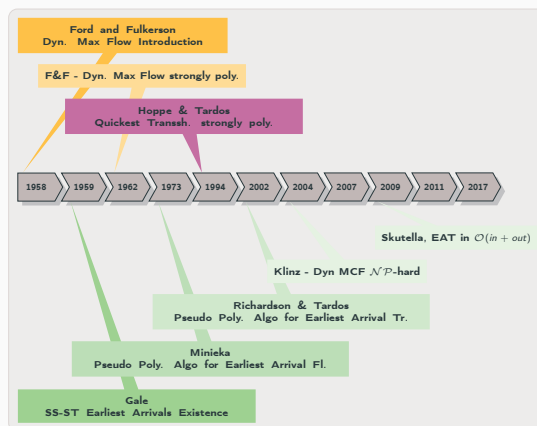
- + Strongly polynomial algorithm
- Never(?) implemented so far

19

Evacuation

Earliest Arrival Transshipments

Topic Review – Earliest Arrival Transshipment



20

Earliest Arrival Transshipment

Given a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, \mathcal{S}, \mathcal{T})$ and demands $d : \mathcal{S} \times \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}$

Different evacuation scenarios

$$\min \text{time needed to send all supplies to } t \quad (2)$$

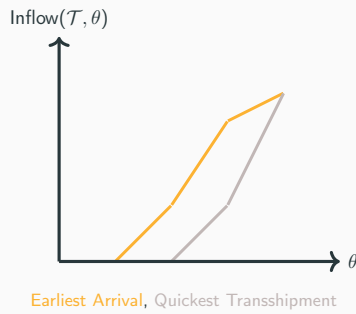
$$\max \text{ amount of flow entering } t \text{ at every } \theta \in [T] \quad (3)$$

Optimization Problems for Evacuation

- Optimizing objective (2) we get a *Quickest Transshipment*
- Optimizing objective (3) we get an *Earliest Arrival Transshipment*

21

Example: Quickest Transshipment vs. Earliest Arrival



22

Existence of Earliest Arrival Flows

Given a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, S, \mathcal{T})$ and demands $d : S \times \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}$

Do Earliest Arrival Flows always exist?

- If flow hurries towards the correct sink, yes.
- This can only be ensured if $|\mathcal{T}| = 1$.

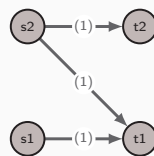
Theorem [Minięka73]

Earliest arrival flows always exist if there is only one sink.

24

Existence of Earliest Arrival Flows – The MultiSink Case

Example: The graph D_1 with unit transit times



Labels: $u_s, d(s_i) = 2, d(t_i) = -2$

Quickest Transshipment

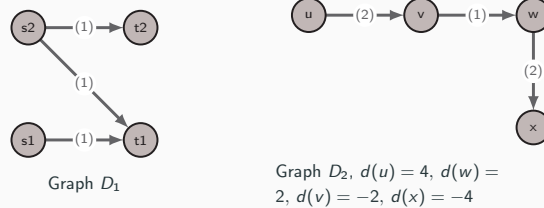
θ	1	2	1+2
Inflow t_1	1	1	2
Inflow t_2	1	1	2
Inflow \mathcal{T}	2	2	4

Earliest Arrival?

θ	1	2	1+2
Inflow t_1	2	0	2
Inflow t_2	1	0	1
Inflow \mathcal{T}	3	0	3

25

Existence of Earliest Arrival Flows – The MultiSink Case



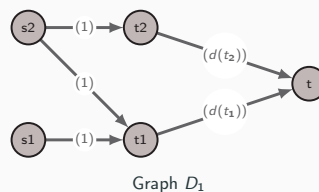
Theorem [Schmidt, Skutella 2010]

A network \mathcal{N} allows for an Earliest Arrival Transshipment for all choices of capacities and balances iff the graph D does not contain D_1 or D_2 as subgraphs.

26

Existence of Earliest Arrival Flows – The MultiSink Case

In practice, many multiSink applications can be reformulated.



Theorem [Richardson, Tardos 2002]

A network \mathcal{N} with multiple sources and a single sink allows for an Earliest Arrival Transshipment for all choices of capacities and balances.

27

Algorithms for Earliest Arrival

Given a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, \mathcal{S}, t)$ and demands $d : \{\mathcal{S}, t\} \rightarrow \mathbb{R}$

Successive Shortest Path Algorithm

- 1: Initialize flow $x = 0$ on time exp. network with T big enough
- 2: **while** s, t connected in the residual network $\mathcal{R}_{\mathcal{N}}^{\text{exp}}$ **do**
- 3: Augment x along shortest (s, t) -path in $\mathcal{R}_{\mathcal{N}}^{\text{exp}}$
- 4: **end while**
- 5: Use gen. path decomposition of Step 3 and temporarily repeat to get dynamic flow x_θ .
- 6: **if** x_θ satisfies d **then**
- 7: **return** Success
- 8: **else**
- 9: **return** Fail
- 10: **end if**

28

Flows with Bridge Capacities

Problem Description

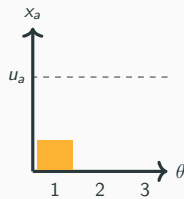
Flows with Bridge Capacities

Consider a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, \mathcal{S}, \mathcal{T})$ and demands $d : \mathcal{S} \times \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}$

with new type of capacities b_a :

$$\sum_{i=\theta}^{\theta+\tau_a-1} x_a(i) \leq b_a, \quad a \in A, \theta \in \{0, \dots, T\}$$

Classical Capacities



Arc a has capacity $u_a = 3$

29

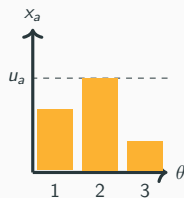
Flows with Bridge Capacities

Consider a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, \mathcal{S}, \mathcal{T})$ and demands $d : \mathcal{S} \times \mathcal{T} \rightarrow \mathbb{R}$

with new type of capacities b_a :

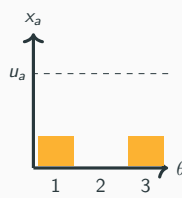
$$\sum_{i=\theta}^{\theta+\tau_a-1} x_a(i) \leq b_a, \quad a \in A, \theta \in \{0, \dots, T\}$$

Classical Capacities



Arc a has capacity $u_a = 3$

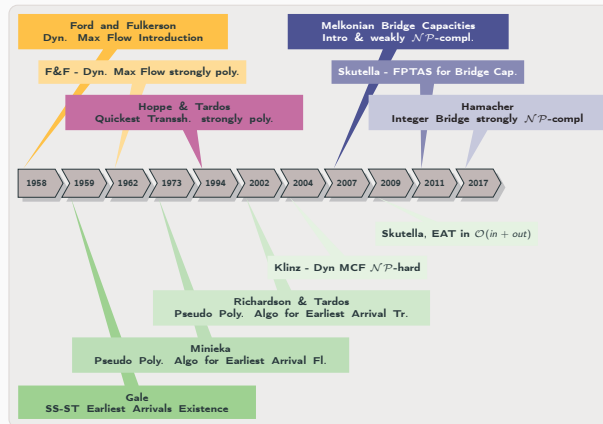
Bridge Capacities



Arc a has capacity $b_a = 2$

29

Topic Review – Bridge Capacities



30

Flows with Bridge Capacities – Model

Integer Bridge Problem

$$\begin{aligned}
 \max \quad & \sum_{a \in \delta^+(s)} \sum_{\theta \in \{0, \dots, T\}} x_a(\theta) \\
 \text{s.t.} \quad & \sum_{a \in \delta^+(v)} x_a(\theta) = \sum_{a \in \delta^-(v)} x_a(\theta), \quad \forall v \in V \setminus \{s, t\}, \forall \theta \in \{1, \dots, T\} \\
 & \sum_{i=\theta}^{\theta+\tau_a-1} x_a(i) \leq u_a, \quad \forall a \in A, \forall \theta \in \{1, \dots, T\} \\
 & x_a(\theta) \in \mathbb{N}, \quad \forall a \in A, \forall \theta \in \{1, \dots, T\}
 \end{aligned}$$

LP-Relaxation no longer feasible!

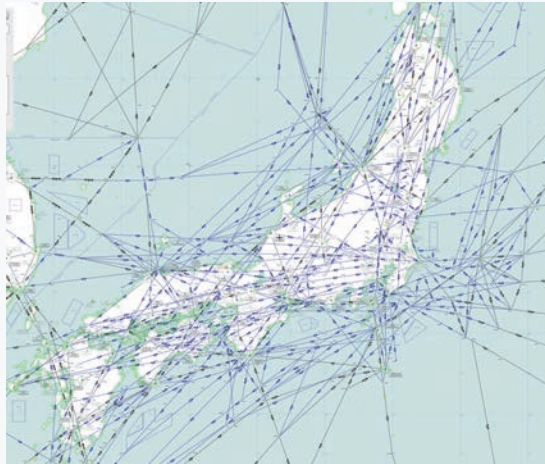
Note that the bridge constraints destroy total unimodularity!

31

Airspace Evacuation

Problem Formulation

Input – The Airway Network



32

Input – Sources, Sinks and Arc Capacities

Sources and Sinks

- Sources: The position (nodes) of a given set of aircraft.
- Sinks: Available airports in the Airway Network (graph).

Arc Capacities

Common arcs have capacity 1 to simulate waiting.

33

Immediate Start and Airport Capacity

Immediate Start

Aircraft can't wait at a node.

- Single copy of airports/sources needed.
- Only one unit of flow per source!

Airport Capacity and Multiple Sinks?

- No need for multiple sinks: An airport *does not demand* aircraft.
- BUT it can store a *maximum number of aircraft*
→ "bridge capacity" at a node.

34



35

Airspace Evacuation

A Graph-Based Algorithm

A Graph-Based Algorithm

Graph Preprocessing

- Time Expansion needed
- Time Expansion does little harm (only one copy of each source and no waiting arcs)
- Airport Filters needed (Airport capacities \rightarrow Bridges)

36

A Graph-Based Algorithm

Graph Preprocessing

- Time Expansion needed
- Time Expansion does little harm (only one copy of each source and no waiting arcs)
- Airport Filters needed (Airport capacities \rightarrow Bridges)

Run

Adapted *Successive Shortest Path Algorithm*

36

Time Expansion for Airspace Evacuation

Consider the following instances: japan_200_20 and europe_200_20

	Japan	Europe
Original number of nodes	13,978	23,103
Original number of arcs	22,521	102,502
Chosen time limit T [min]	596	550
Nodes after time exp.	1,277,716	8,053,503
Arcs after time exp.	5,267,948	57,884,410

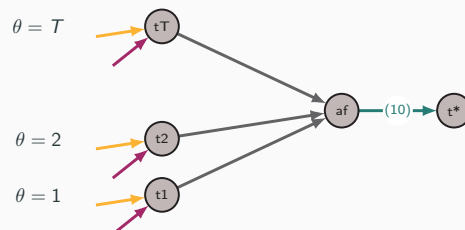
37

Airport Filters

Original graph



Airport Filter in Time Expanded Network



38

Adapted Successive Shortest Path Algorithm

Successive Shortest Path Algorithm

- 1: Initialize flow $x = 0$ on time exp. network with T big enough
- 2: **while** s, t connected in the residual network $\mathcal{R}_{\mathcal{N}}^{\text{exp}}$ **do**
- 3: Augment x along shortest (s, t) -path in $\mathcal{R}_{\mathcal{N}}^{\text{exp}}$
- 4: **end while**
- 5: Use gen. path decomposition of Step 3 and temporally repeat to get dynamic flow x_d .
- 6: **if** x satisfies d **then**
- 7: **return** Success
- 8: **else**
- 9: **return** Fail
- 10: **end if**

39

Correctness of the Algorithm

Theorem

Consider a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, s, t)$ with unit capacities. If there is a flow of value k , then there are at least k edge-disjoint (s, t) -paths.

→ Max-Flow for fast feasibility check.

40

Correctness of the Algorithm

Theorem

Consider a network $\mathcal{N} = (D = (V, A), \tau, u, s, t)$ with unit capacities. If x is a $0-1$ flow with value k , then the arcs with $x_a = 1$ contain a set of k edge-disjoint paths.

→ If the problem is feasible, Successive Shortest Path finds a flow of value k that can be decomposed.

41

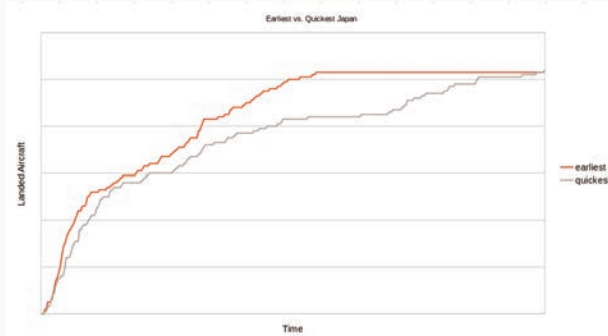
Running Time

Consider the following instances: japan_200_20 and europe_200_20

	Japan	Europe
Quickest Transshipment [s]	60.2	1,100.6
Earliest Arrival Transshipment [s]	1.8	16.2
Evacuation Duration [min]	377	260

42

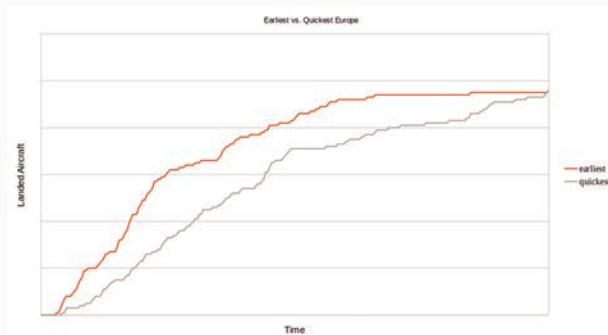
Quickest vs. Earliest Arrival



Earliest vs. Quickest Japan

43

Quickest vs. Earliest Arrival



Earliest vs. Quickest Europe

43

Airspace Evacuation

Future work

Future Work

- Minimum aircraft separation
- Aircraft Evacuation with constraint resources
- Priority Evacuation

44

Planning Aircraft Routes is Important!



Hurricane Irma. FlightRadar24.com on Sept. 7th 2017.

45

Solving Extremely Large Stochastic Mixed-Integer Programs in Parallel on Distributed Memory Computing Environments

Yuji Shinano

The Zuse Institute Berlin: ZIB
Berlin, Germany

Solving Extremely Large Stochastic Mixed-Integer Programs in Parallel on Distributed Memory Computing Environments

Yuji Shinano
Zuse Institute Berlin

joint work with
Lluís Miquel Munguia, Geoffrey Oxberry, Deepak Rajan



31/11/2017 Meeting Room AB Nishijin Plaza, Kyushu University

1

Outline

Our research group activities

- ◆ Introduction of SCIP Optimization Suite

Today's topic

- Stochastic Mixed Integer Programming
- Introduction of PIPS-SBB
- Cores grain parallelization
 - ◆ ug[PIPS-SBB,MPI] : External parallelization
- Fine grain parallelization
 - ◆ PIPS-PSBB : Internal parallelization
- Computational results
- UG Synthesizer
- Conclusions

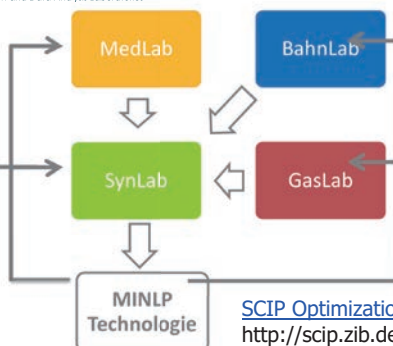
Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

2

Application driven research



Partner



<http://scip.zib.de>

Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

3

Background and Purpose

MIP (Mixed Integer Linear Programming)

- **minimizes** or maximizes a linear function
- is subject to linear constraints
- has integer and continuous variables

$$\min\{c^T x : Ax \leq b, l \leq x \leq u, x_j \in \mathbb{Z}, \text{ for all } j \in I\}$$

$$A \in \mathbb{R}^{m \times n}, b \in \mathbb{R}^m, c, l, u \in \mathbb{R}^n, I \subseteq \{1, \dots, n\}$$

- General form of combinatorial optimization problems
- Many applications
- MIP solvability has been improving



Development of a massively parallel MIP solver

- can solve instances that cannot be solved by state-of-the-art MIP solvers
- keeps catching up performance improvements of state-of-the-art MIP solvers

Stochastic Mixed Integer Programming

■ Stochastic programming models optimization problems involving uncertainty

- An approach: Optimize minimum expected cost
- Typically: Decisions are staged

■ Consider two-stage stochastic mixed-integer programs (SMIPs):

- 1st stage: deterministic "now" decisions
- 2nd stage: depends on random event & first stage decisions.

example

$$\min_x \{c^T x + \mathbb{E}_p[Q(x, \omega)] \mid Ax \leq b, x_j \in \mathbb{Z}, \forall j \in I_1\}$$

$$Q(x, \omega) = \min_y \{q^T y \mid Wy \leq h - Tx, y_j \in \mathbb{Z}, \forall j \in I_2\}$$

■ Cost function includes deterministic variables & expected value function of non-deterministic parameters

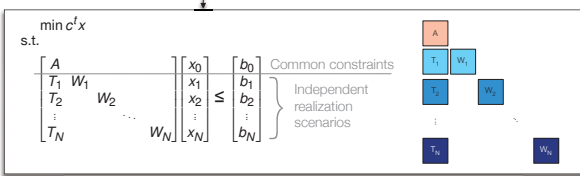
Stochastic MIPs and their deterministic equivalent

- Using sample average approximation (SAA), can be approximated using deterministic equivalent formulations
- This assumption yields characteristic dual block-angular structure.

$$\min_x \{c^T x + \mathbb{E}_p[Q(x, \omega)] \mid Ax \leq b, x_j \in \mathbb{Z}, \forall j \in I_1\}$$

$$Q(x, \omega) = \min_y \{q^T y \mid Wy \leq h - Tx, y_j \in \mathbb{Z}, \forall j \in I_2\}$$

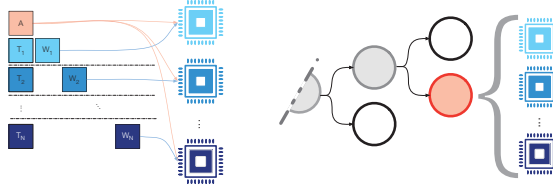
No linking constraints
The same block size



PIPS-SBB: a distributed-memory parallel solver for deterministic equivalent SMIPs

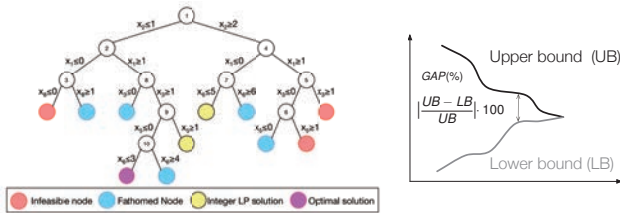
- PIPS-SBB is a specialized Branch-and-Bound based solver for two-stage SMIPs

- > Distributed Memory approach: Distribute data among multiple processors.
- > **PIPS-S**: Distributed Memory parallel Simplex solver for Stochastic LPs (Lubin et al., 2013)
- > **PIPS-SBB**: SMIP-specific cuts, heuristics, branching rules, etc.
 - Current progress: CP18 Integer and Combinatorial Optimization – Part I (Wed. 17:30)
PIPS-SBB: A distributed-Memory Linear-Programming-Based Branch-and-Bound Solver for Stochastic Mixed-Integer Programs given by Geoffrey Malcolm Oxberry



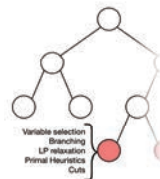
Branch and Bound for solving MIPs

- Branch and Bound (B&B): Most widely used algorithms for solving MIPs to optimality
- Upper Bounds (UB) are provided by the integer solutions found along the B&B exploration
- Each subproblem has a Lower Bound (LB) associated with the LP relaxation



Branch and Bound is straightforward to parallelize in theory

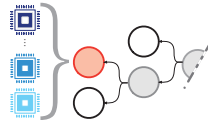
- Processing of subproblems is independent
- Shared-memory parallelization present in most state-of-the-art MIP solvers
- Distributed-memory parallelization is not as straightforward
 - > Need to distribute work among different nodes
 - > Information sharing results in communication overheads
- Classification: Smallest transferrable unit of work
 - > Coarse-grained parallelization: Unit of work is MIP subtree
 - > Fine-grained parallelization: Unit of work is MIP tree node



- Processing of subproblems is independent
 - Processing of nodes is a sequential computational bottleneck

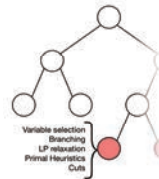


- PIPS-SBB: B&B based Stochastic MIP solver
 - Processing of nodes in parallel (parallel LP relaxation, parallel heuristics, parallel problem branching, ...).



MPI: Message Passing Interface

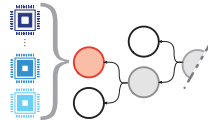
- Processing of subproblems is independent
 - Processing of nodes is a sequential computational bottleneck



- PIPS-SBB: B&B based Stochastic MIP solver
 - Processing of nodes in parallel (parallel LP relaxation, parallel heuristics, parallel problem branching, ...).

- **Parallelized B&B** PIPS-SBB: Two levels of parallelism

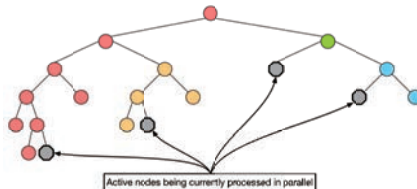
- Branch and Bound in parallel (coarse/fine)
 - Coarse-grained: **ug[PIPS-SBB, MPI]**
 - Fine-grained: **PIPS-PSBB**



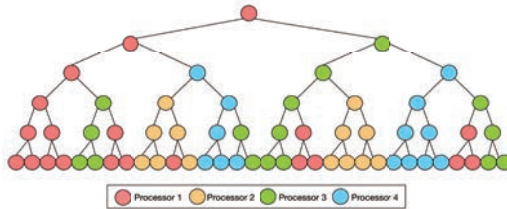
MPI: Message Passing Interface

Parallel Branch and Bound as a graph problem

- We can regard parallel Branch and Bound as a parallel graph exploration problem
- Given p processors, **frontier** of a tree is the set of subproblems currently being open
- Subset currently processed in parallel are the **active** nodes
- **Redundant** node: A subproblem fathomable given that the optimal solution is known.
- Goal: Increase efficiency of Parallel B&B by reducing number of useless nodes explored.

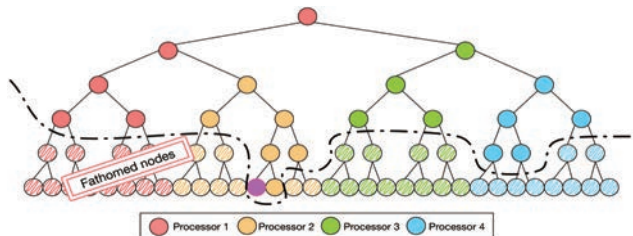


- To reduce the amount of useless nodes explored, the search must
 - Fathom subproblems using high quality UBs
 - **How to focus on the most promising nodes**
- To increase the parallel efficiency by:
 - Generating a set of active nodes comprised of the most promising nodes
 - Employing processors to explore the smallest amount of active nodes
 - With less communication overhead



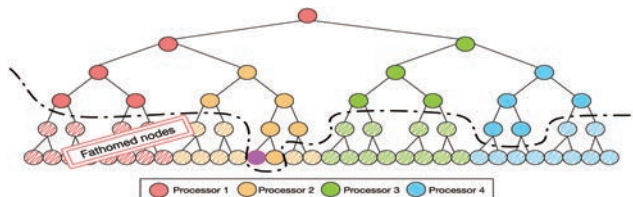
Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation 13

- Advantages:
 - Less communication between MPI processes
 - Centralized implementations simpler to implement
- Challenges:
 - Extra work likely to be performed when compared to the sequential case
 - May scale poorly due to load imbalance

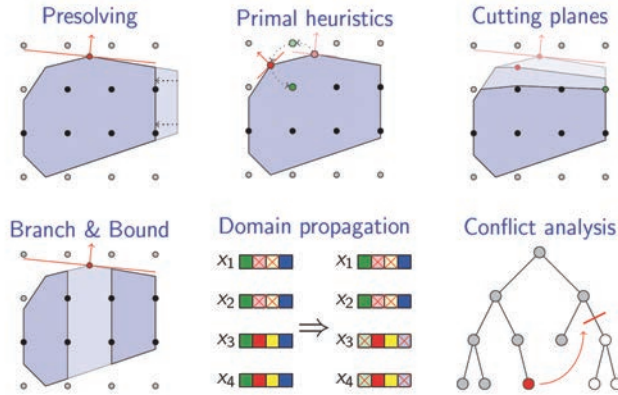


Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation 14

- Ubiquity Generator Framework(UG) is a generic framework to parallelize B&B solvers
 - Exploits powerful performance of state-of-the-art base solvers, such as SCIP, Xpress, Gurobi, CPLEX
 - External parallelization using Sub-MIPs (Unit of work: MIP subtree)



Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation 15

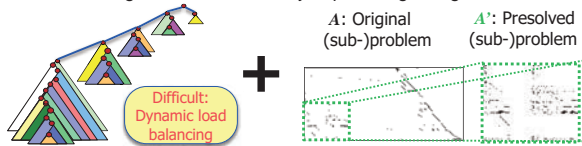


- MILP (Mixed Integer Linear Programming) Problem

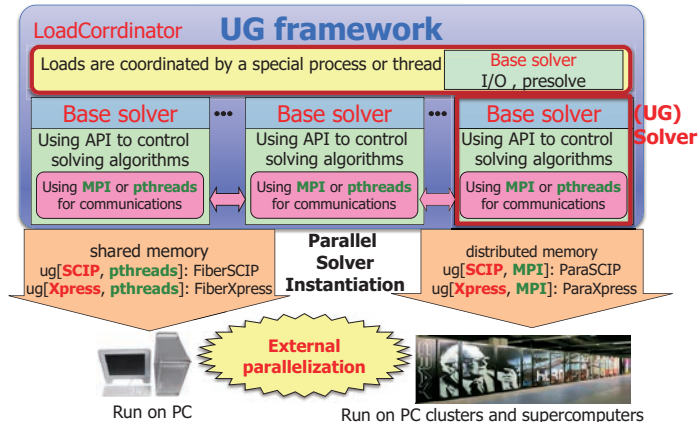
$$\min\{c^T x : Ax \leq b, l \leq x \leq u, x_j \in \mathbb{Z}, \text{ for all } j \in I\}$$

$$A \in \mathbb{R}^{m \times n}, b \in \mathbb{R}^m, c, l, u \in \mathbb{R}^n, I \subseteq \{1, \dots, n\}$$

- Parallel solving with mathematically supercharged algorithms



- Finite, but exponential search space
→ B&B: **implicit** enumeration for global optimality
- UG**: parallelization framework for state-of-the-art B&B algorithms (e.g. for MINLP, etc.)
- Parallelize **SCIP**: Solving Constraint Integer Programs
- Parallelize commercial solvers



Main features provided by UG

- Ramp-up mechanism
 - Normal ramp-up, racing ramp-up
- Dynamic load balancing
- Checkpointing and restarting mechanism
- Deterministic mode for debugging

Some facts about ug[SCIP, MPI]: ParaSCIP

- Solved 2 MIPLIB2003 previously unsolved instances for the first time
- Solved 12 MIPLIB2010 previously unsolved instances for the first time
- ug[SCIP-Jack, MPI] solve three previously unsolved instances from PUC Steiner Tree Problem test set
 - SCIP-Jack: A customized SCIP solver for Steiner Tree Problem

Main results for MIP solving by ParaSCIP

OPEN INSTANCES FROM MIPLIB2010 SOLVED BY PARASCIP

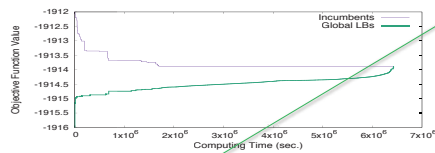
Date	Name	Rows	Cols	Int	Bin	Con	SCIP	CPLEX	Computer	Runs	Cores	Time(h.)	Optimal value
March 2011	rmatr200-p20	29406	29605			20029405	2.0.1	12.2	Aibaba	1	160	2	837
March 2011	50v-10	233	2013	183	1464	366	2.0.1	12.2	HLRN II	1	1024	5	3313.18
March 2011	probportfolio	302	320		300	20	2.0.1	12.2	HLRN II	1	1024	5	16.7342
March 2011	reblock354	19906	3540		3540		2.0.1	12.2	HLRN II	2	500	1	31.2281657
Jun 2012	sg021242	6310	2080		640	1440	2.1.1	12.4	HLRN III	1	1024	1	2300867
July 2012	dcic	1649	10039		8380	1659	2.1.1	12.4	HLRN III	1	1024	1	1767903.6501
August 2012	germany50-DBM	2526	8189	88							256	590	473840
March 2013	dolom1*	1803	11613						HLRN III	2	12288	16	6669253
January 2013	setj-10	3743							HLRN III	3	6144	33	185179.043049708
January 2013	setj-20	3743							HLRN III	2	3072	24	
January 2013	setj-20	3743					2.1.1	12.6	HLRN III	1	6144	12	159462.572721458
January 2013	setj-20	3743							HLRN III	3	3072	36	

Keep solving open instances!

November 2012: **reblock354** was solved with 864 cores in 9.5 hours
 December 2012: **germany50-DBM** was solved with 48 restarted jobs
 Titan: Cray XK7, Opteron 6274 16C 2.2GHz, Cray Gemini interconnect
 ISM: Fujitsu PRIMERGY RX200S5
 HLRN II: SGI Altix ICE 8200EX (Xeon QC E5472 3.0 GHz/X5570 2.93 GHz)
 HLRN III: Cray XC30 (Intel Xeon E5-2695v2 12C 2.400GHz, Aries interconnect)

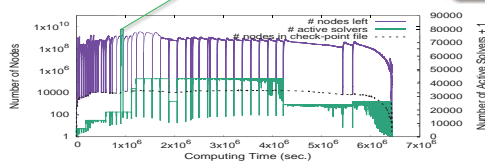
The biggest and the longest computation

Solving **rmine10**: 48 restarted runs with 6,144 to 80,000 cores



Titan with 80,000 cores
The others: HLRN III

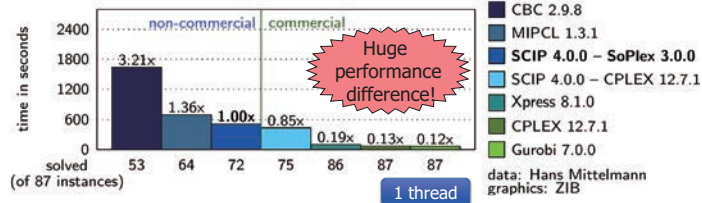
It took about 75 days and 6,405 years of CPU core hours!



UG can handle up to 80,000 MPI process

How open nodes and active solvers evolved

Performance of state-of-the-art MIP Solvers

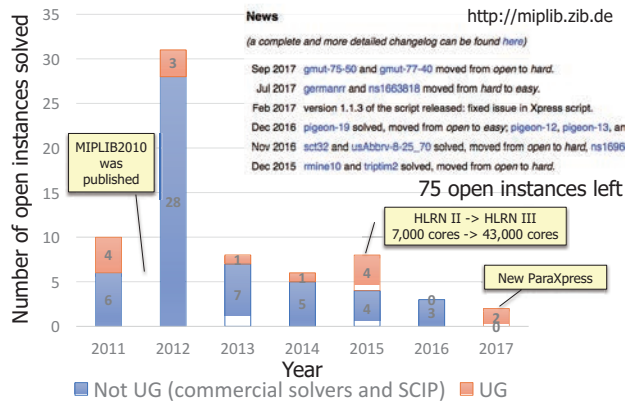


MIP solver benchmark (1 thread): Shifted geometric mean of results taken from the homepage of Hans Mittelmann (14/Apr/2017). Unsolved or failed instances are accounted for with the time limit of 2 hours.

SCIP (Solving Constraint Integer Programs):

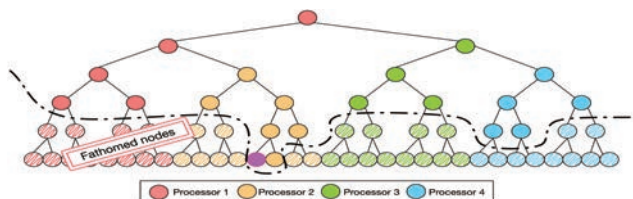
- one of the most powerful non-commercial MIP solver
- extendable to solve more large classes of optimization problems

Solving open instances of MIPLIB2010



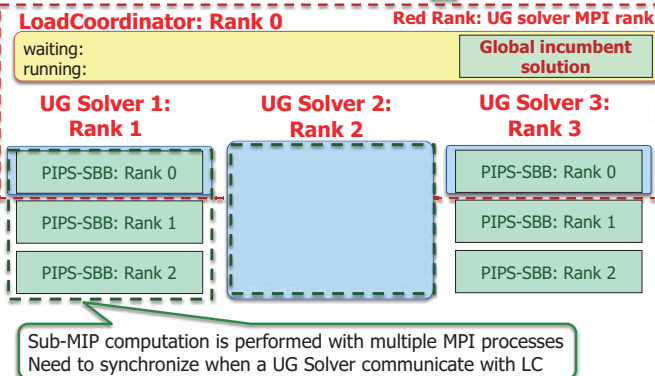
Course-grained approach to Parallel Branch and Bound using UG

- Ubiquity Generator Framework(UG) is a generic framework to parallelize B&B solvers
 - Exploits powerful performance of state-of-the-art base solvers, such as SCIP, Xpress, Gurobi, CPLEX
 - External parallelization using Sub-MIPs (Unit of work: MIP subtree)
- Base solver and communication library used are encapsulated by UG: **ug[PIPS-SBB,MPI]**

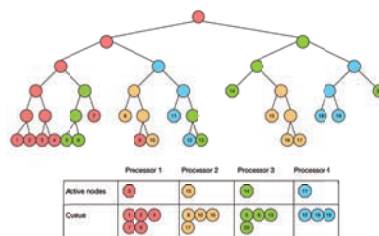


- Dynamic load balancing using Lower Bounds (quality of "goodness"):
 - LoadCoordinator (LC) maintains queue of "good" nodes
 - LC Requests nodes from "good" solvers when queue size is small
 - LC hands out node from queue to solver when requested
 - Solver requests "good" node when current nodes are not "good"
- Other details:
 - Multiple Ramp-up mechanisms: Normal ramp-up, racing ramp-up
 - Checkpointing and restarting mechanism
 - Deterministic mode for debugging
- Capable of handling distributed-memory based base solver

`mpirun -np 10 ./ugpipsbbSMPS ... -npipsbk 3`



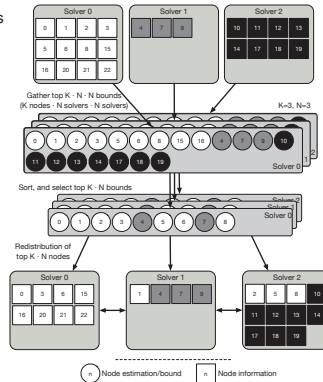
- The smallest transferrable unit of work is a Branch and Bound node.
 - Queues in processors are collections of subtrees (frontier nodes)
- Advantage: Allows for great flexibility and fine-grained control
Disadvantage: More communication
- Solution: Coordination and exchange is decentralized to minimize communication



Fine-grained control: Share the most promising nodes Solution: All-to-all parallel node exchange of best active nodes



- Load balancing is maintained via synchronous MPI collective communications
- **Lower bounds** of most promising $K \times N$ nodes of all processors are exchanged and ranked
- The top $K \times N$ are selected and **nodes** are redistributed in a round robin fashion
- Because of fine-grained nature of the approach, communication must be used strategically to minimize overheads
 - Status of each solver (Upper/lower bounds, tree sizes, times, solutions, ...) exchanged asynchronously
 - Node transfers are synchronous
 - Exchanges are triggered judiciously



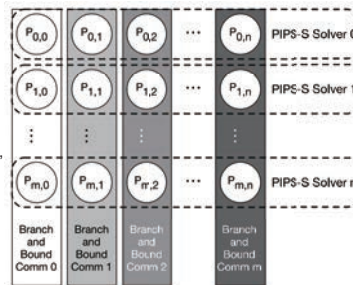
Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

28

Fine-grained approach to Parallel Branch and Bound



- Two levels of parallelism require a layered organization of MPI processors
- In the PIPS-S communicator, processors perform in parallel:
 - Presolve, LP relaxations
 - Primal Heuristics, Cuts, Branching and Node Selection
- In the Branch and Bound communicator, processors exchange:
 - B&B Nodes, Lower Bound information
 - Solutions, Queue sizes, and Search status
- Two Strategies for Ramp-up:
 - Parallel Strong Branching
 - Standard Branch and Bound
- **Strategy for Ramp-down: intensify the frequency of node rebalancing**



Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

29

Experimental performance results: Setup



- We test our solver on SSLP instances, from the SIPLIB library
 - SSLP instances model server locations under uncertainty
 - Instances are coded as $SSLP_{m,n,s}$, where s represents the number of scenarios
 - Larger number of scenarios means bigger problems
 - LP relaxations of all instances fit in memory, even in CPLEX
 - PIPS-SBB can handle much larger LP relaxations
 - Details: See <http://www2.isye.gatech.edu/~sahmed/siplib/sslp/sslp.html>
- Larger number of scenarios means bigger problems
 - LP relaxations of all instances fit in memory, even in CPLEX
 - PIPS-SBB can handle much larger LP relaxations
 - **Computationally intensive features MIP Heuristics: on, Strong Branching: off**
- All runs on the Cab cluster at LLNL:
 - Each node: Intel Xeon E5-2670, 2.6 GHz, 2 CPUs x 8 cores/CPU
 - 16 cores/node, 2 GB RAM/core, 32 GB RAM/node
 - Infiniband QDR interconnect
- CPLEX 12.6.2 used in some comparisons, in Vanilla setting.

Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

30

Experimental performance results: Measuring parallel performance



- We measure parallel performance in terms of wall clock time, speedup, communication overhead, number of nodes processed and primal dual integral

- **Wall clock time**

- **Speedup:** Fraction of time T_p needed to reach optimality by a configuration with p processors with respect to the time needed by a sequential baseline T_1 :

$$S_p = \frac{T_1}{T_p}$$

- **Communication overhead (Parallel PIPS-SBB):** Fraction of time $T_{comm} + T_{sync}$ needed for communication and processor synchronization with respect to the total time of execution T_{exec} :

$$C_{ov} = \frac{T_{comm} + T_{sync}}{T_{exec}}$$

- **Idle time ratio (ug[PIPS-SBB,MPI]):** Fraction of average idle time $\frac{\sum_{i=1}^p T_{idle_i}}{p}$ with respect to execution T_{exec} :

$$Idle\ time\ ratio = \frac{\sum_{i=1}^p T_{idle_i}}{p} \times \frac{1}{T_{exec}}$$

- **Node efficiency:** Fraction of redundant nodes explored N_r with respect to the total number of nodes explored N_{total} .

$$N_{ineff} = \frac{N_r}{N_{total}}$$

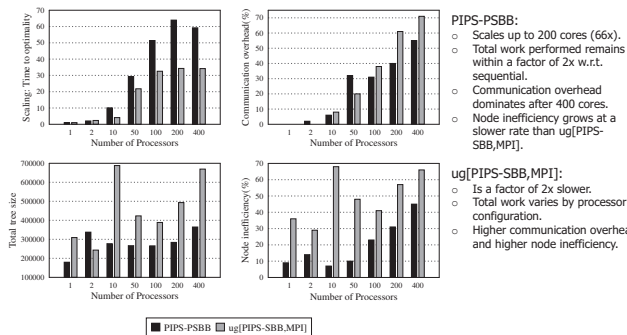
Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

31

PIPS-PSBB and ug[PIPS-SBB,MPI]: Performance comparison



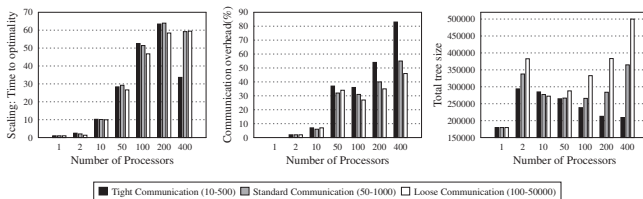
Performance comparison between PIPS-PSBB and ug[PIPS-SBB,MPI] when optimizing small instances. ssp_15_45_5 (5 scenarios, 3390 binary variables, 301 constraints)



Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

32

Tuning the communication frequency of PIPS-PSBB

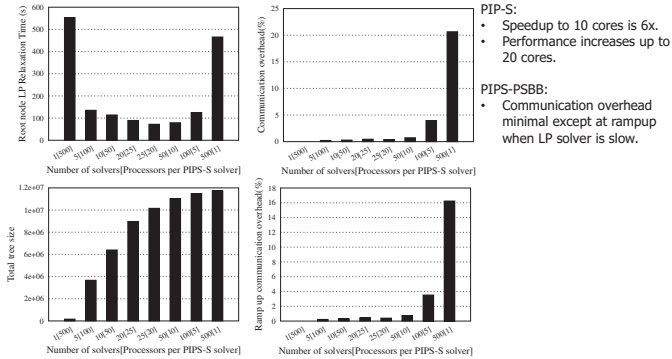


- PIPS-PSBB allows to modify the frequency between synchronous communications.
- Frequency defined with (x,y) , where x and y represent the minimum and maximum number of B&B iterations that must be processed before communication takes place.
- Tighter communication increases communication overheads, but reduces work performed.
- The opposite takes place under loose communication.

Advancement of mathematical model of disaster prevention and evacuation planning toward social implementation

33

PIPS-PSBB Solver performance exposed: sslp_10_50_500
(500 scenarios, 250,010 binary variables, 30,001 constraints)



PIPS-SBB: Comparison against CPLEX



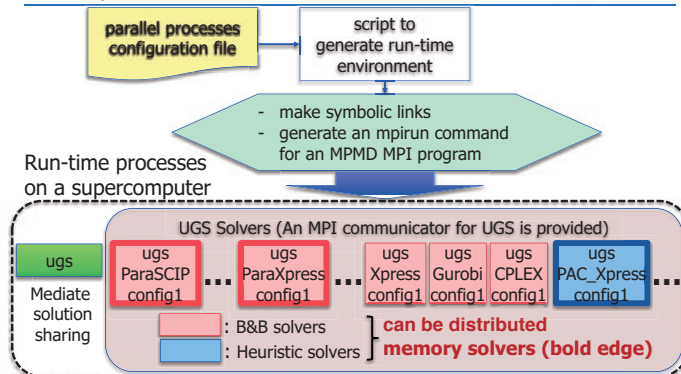
Performance comparison against CPLEX 12.6.2

Instance	Scenarios	Configuration		PIPS-PSBB		ug(PIPS-SBB,UG)		CPLEX SM		CPLEX DM	
		Solvers	PIPS-S procs	GAP%(Time)(s)	GAP%(Time)(s)	Procs	GAP%(Time)(s)	Procs	GAP%(Time)(s)		
sslp_5_25_50	50	2	2	(7.45s)	(8.03s)	4	(0.27s)	4	(0.27s)		
sslp_5_25_100	100	2	2	(22.37s)	(17.79s)	4	(0.64s)	4	(0.64s)		
sslp_15_45_5	5	200	2	(107.11s)	(163.53s)	16	(1.97s)	400	(6.26s)		
sslp_15_45_10	10	200	2	0.09%	0.16%	16	(1.81s)	400	(15.04s)		
sslp_15_45_15	15	200	2	0.25%	0.30%	16	(7.80s)	400	(15.76s)		
sslp_10_50_50	50	200	10	0.13%	0.21%	16	(43.88s)	2000	0.15%(M)		
sslp_10_50_100	100	200	10	0.17%	0.20%	16	(221.69s)	2000	0.16%(M)		
sslp_10_50_500	500	200	10	0.24%	0.24%	16	4.91%(M)	2000	1.25%(M)		
sslp_10_50_1000	1000	200	10	0.24%	0.24%	16	9.91%	2000	6.08%		
sslp_10_50_2000	2000	200	10	0.26%	0.26%	16	19.93%	2000	8.11%		

Time limit: 1 hour

- Distributed-memory parallelization of CPLEX is often inferior to its shared-memory counterpart.
- Both CPLEX versions run into Memory limits for some problems.
- The superior performance of CPLEX's base solver helps in trivial and small problems.
- PIPS-SBB-based solvers show superior performance for large problems.

UG Synthesizer



PAC: L. Munguia, S. Ahmed, D. Bader, G.L. Nemhauser and Y. Shao. "Alternating Criteria Search: A parallel large neighborhood search algorithm for mixed Integer programs," accepted *Computational Optimization and Applications*, 2017.

Conclusions

We developed a light-weight decentralized distributed memory branch-and-bound implementation for PIPS-SBB with two degrees of parallelism:

- Processing of nodes in parallel (parallel LP relaxation, parallel heuristics, parallel problem branching, ...).
- Branch and Bound in parallel.

Better parallel efficiency is achieved by focusing the parallel resources in the most promising nodes.

We try to reduce communication bottlenecks and achieve high processor occupancy via a decentralized control of the tree exploration and a lightweight mechanism for exchanging Branch and Bound nodes.

- Superior performance to state-of-the-art commercial MIP solvers, in the context of large instances.

The SCIP Optimization Suite

Matthias Miltenberger

Zuse Institute Berlin

26th February, 2015

The SCIP Optimization Suite



- ▶ toolbox for **generating** and **solving** constraint integer programs
- ▶ free for academic use, available in source code

ZIMPL

- ▶ model and generate LPs, MIPs, and MINLPs

SCIP

- ▶ MIP, MINLP and CIP solver, branch-cut-and-price framework

SoPlex

- ▶ revised primal and dual simplex algorithm

GCG

- ▶ generic branch-cut-and-price solver

UG

- ▶ framework for parallelization of MIP and MINLP solvers

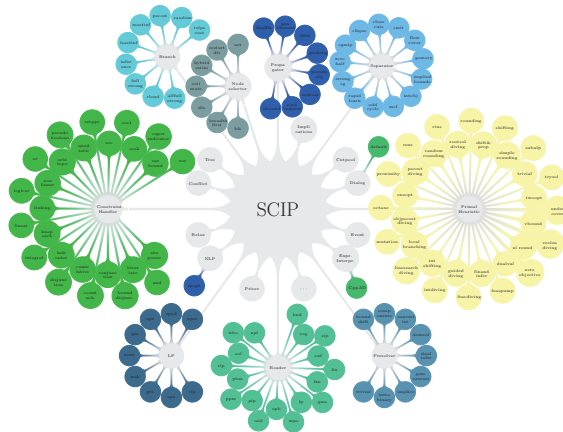
Current Developers of the SCIP Optimization Suite



- ▶ Thorsten Koch
- ▶ Marc Pfetsch (TU Darmstadt)
- ▶ Gerald Gamrath
- ▶ Ambros Gleixner
- ▶ Gregor Hendel
- ▶ Stephen J. Maher
- ▶ Matthias Miltenberger
- ▶ Benjamin Müller
- ▶ Felipe Serrano
- ▶ Yuji Shinano
- ▶ Jakob Witzig
- ▶ Tobias Fischer (TU Darmstadt)
- ▶ Tristan Gally (TU Darmstadt)
- ▶ Stefan Vigerske (GAMS)
- ▶ Dieter Wening (FAU Erlangen)
- ▶ Christian Puchert (RWTH Aachen)
- ▶ Jonas Witt (RWTH Aachen)
- ▶ Daniel Rehfeldt
- ▶ ...



SCIP has a modular, plugin based structure



Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

4

Some facts about SCIP

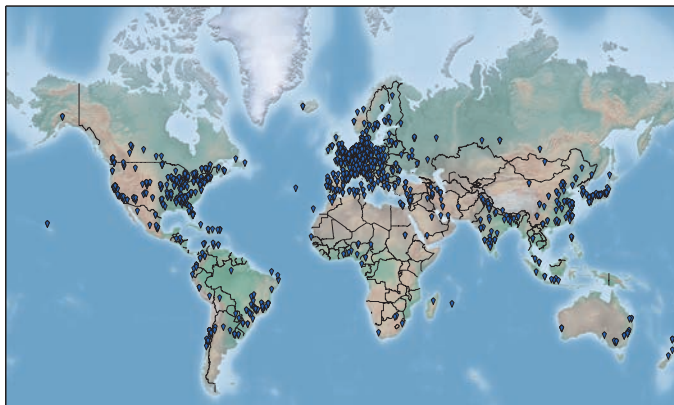


- ▶ general setup
 - ▶ plugin based system
 - ▶ default plugins handle MIPs and nonconvex MINLPs
 - ▶ support for branch-and-price and custom relaxations
- ▶ documentation and guidelines
 - ▶ more than 450 000 lines of C code, 20% documentation
 - ▶ 30 000 assertions, 4 000 debug messages
 - ▶ HowTos: plugin types, debugging, automatic testing
 - ▶ 11 examples illustrating the use of SCIP
 - ▶ active mailing list scip@zib.de (300 members)
- ▶ interface and usability
 - ▶ user-friendly interactive shell
 - ▶ interfaces to AMPL, GAMS, ZIMPL, MATLAB, Python and Java
 - ▶ C++ wrapper classes
 - ▶ LP solvers: CLP, CPLEX, Gurobi, MOSEK, QSOPT, SoPlex, Xpress
 - ▶ over 1 600 parameters and 15 emphasis settings
- ▶ about 8 000 downloads per year from 100+ countries

Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

5

(Some) Universities and Institutes using SCIP



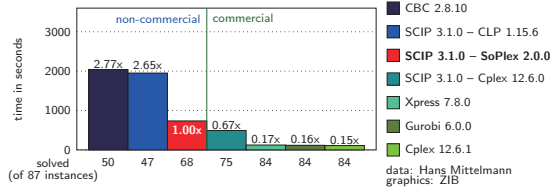
Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

6

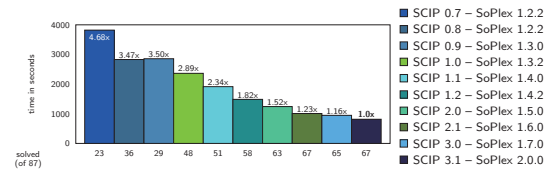
SCIP 3.1: Performance



fastest non-commercial MIP solver



versionwise performance improvements



Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

7

History of the SCIP Optimization Suite



- 1996 SoPlex – Sequential obj. simPlex (R. Wunderling [now IBM])
- 1998 SIP – Solving Integer Programs (A. Martin [now U Erlangen])
- 10/2002 Beginning of SCIP development (T. Achterberg [now Gurobi])
- 08/2003 Chipdesign verification
- 10/2004 ZIMPL – Zuse Institute Math. Programming Language (T. Koch)
- 09/2005 First public version 0.8 of SCIP
- 09/2007 SCIP 1.0 release, ZIB Optimization Suite (SoPlex, SCIP, ZIMPL)
- 11/2008 Development of GCG started (G. Gamrath)
- 01/2009 Gas transport optimization
- 03/2009 Beginning of UG development (Y. Shinano)
- 09/2009 Beale-Orchard-Hays Prize (T. Achterberg)
- 04/2010 Supply-Chain management
- 12/2010 Google Research Award 2011
- 8/2012 Version 3.0, first releases of GCG, UG, SCIP-SDP
SCIP Optimization Suite (SoPlex, SCIP, ZIMPL, GCG, UG)
- 10/2014 Google Optimization uses SCIP

Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

8

Siemens cooperation



Longstanding Cooperation with department
Modeling, Simulation, Optimization



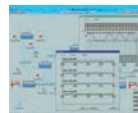
- ▷ first licensee (1996) of SoPlex
- ▷ steady use in various optimization modules



placement robots in
circuit board production



optimal planning of
water networks



Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

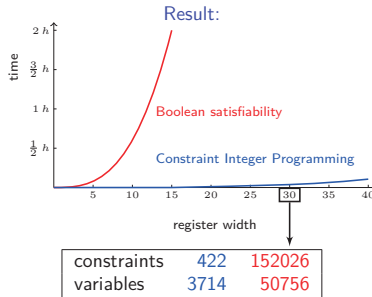
9

Chipdesign verification



Goal: (computer-)proof, that a design is free of errors

Method: property checking using CIPs



Duration: 2003-2008

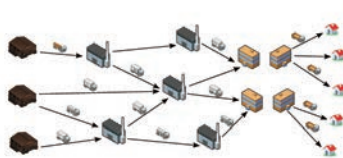
Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

10

Supply Chain Management



Huge, numerically challenging problems



Topics:

- ▶ overall LP performance
- ▶ improved numerical stability
- ▶ new presolving techniques
- ▶ decomposition approaches
- ▶ better branching schemes

Duration:

- ▶ 2010 – 2019 (at least)

Cooperation:



Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

11

ug[SCIP] — the parallel version of SCIP



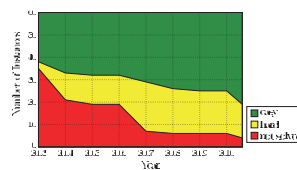
Some facts and results:

- ▶ shared ("FiberSCIP") and distributed memory version ("ParaSCIP")
- ▶ solves MIP and MINLP
- ▶ successful runs with up to 80.000 SCIP solvers
- ▶ solved 2 previously unsolved MIPLIB 2003 instances
 - ▶ ds: 4096 cores, about 76 hours, 3 billion nodes
 - ▶ stp3d: 7186 cores, about 33 hours, 10 million nodes (optimal solution given)
- ▶ and many MIPLIB 2010 instances

HLRN II:



MIPLIB 2003:



Matthias Miltenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite

12



https://developers.google.com/optimization/docs/1p

Google Developers Search [Sign in](#)

Products > Google Optimization [Report documentation issue](#) [Take developer survey](#)

Google Optimization 84

- Overview
- Linear Optimization
 - Linear Optimization Overview**
 - Linear Optimization Add-on for Google Sheets
 - Linear Optimization Service in Google Apps Script
 - Linear Optimization with Glop
- Puzzles
- Bin Packing and Cutting
- Traveling Salesman Problem

Linear Optimization

Linear optimization or *linear programming* is the name given to computing the best solution to a problem modeled as a set of linear relationships. These problems arise in many scientific and engineering disciplines. (The word "programming" is a bit of a misnomer; similar to how "computer" once meant "a person who computes." Here, "programming" refers to the arrangement of a plan, rather than programming in a computer language.)

Google provides three ways to solve linear optimization problems: the Linear Optimization add-on for Google Sheets, the Linear Optimization Service in Google Apps Script, and the open-source library Glop.

The [Linear Optimization add-on for Google Sheets](#) lets users solve linear-optimization problems by entering variables and constraints in a spreadsheet. Under the hood, it uses Apps Script's Linear Optimization Service.

The [Linear Optimization Service in Google Apps Script](#) lets developers make function calls to solve linear optimization problems. It relies on Glop for pure linear optimization problems where all variables can take on real values. If any variables are constrained to integers, the service uses [SCIP](#) from Zuse-Institut Berlin.

[Glop](#) is Google's in-house linear solver, available as [open source](#).

Matthias Mittenberger (ZIB): The SCIP Optimization Suite 13

エージェントベースモデルによる避難シミュレーション精緻化の動向

安福 健祐

大阪大学サイバーメディアセンター
大阪, 日本

エージェントベースモデルによる 避難シミュレーション精緻化の動向

大阪大学サイバーメディアセンター

安福 健 祐

於 九州大学 西新プラザ 2017.12.1
防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて

避難シミュレーション

- マルチエージェントシステムによるシミュレーション
 - ▶ エージェント=避難者
 - ▶ 現実に起こり得る避難状況をシミュレーション
- ネットワークフローモデルによるシミュレーション
 - ▶ 最適化問題により効率のよい避難誘導・避難計画をシミュレーション
 - ▶ HPCへの応用すむ



マルチエージェントによる避難シミュレーション buildingEXODUS
<http://tpforum8.co.jp/forum8lib/pdf/EXODUS-201011.pdf>

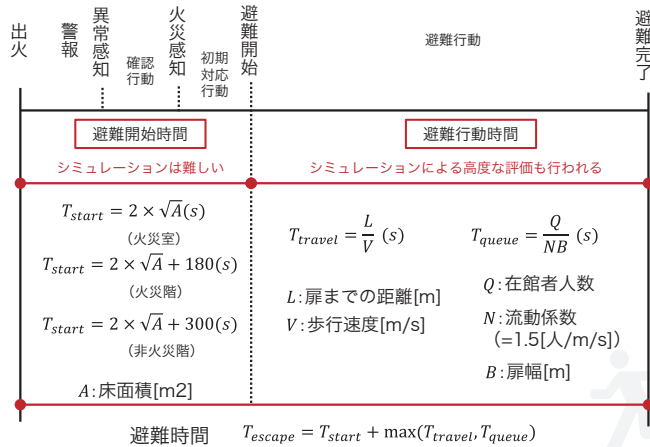


ポストベタスケールシステムにおける超大规模グラフ最適化基盤
<http://www.graphcrest.jp/jp/fujisawaghtml>

本日の内容

- エージェントベースモデル
- 避難シミュレーションの共通手法と精緻化の方向性
 - ▶ 空間モデル
 - ▶ 経路選択モデル
 - ▶ 群集歩行（衝突回避）モデル
- 避難シミュレーションの大規模化
- 検証と妥当性確認（V&V）

建築物の火災避難安全性の評価方法



建築基準法での避難シミュレーションの位置づけ

性能規定化された建築基準法における避難安全性の確保 (2000年以降)

仕様設計 (ルートA)	避難関係規定の 仕様基準に適合	
簡易な性能設計 (ルートB)	告示による検証 ・階避難安全検証法 ・全館避難安全検証法	階避難安全性: 避難施設(廊下の幅、階段までの歩行距離等)、排煙設備、内装制限の仕様の適用が除外される
高度な性能設計 (ルートC)	告示以外の方法による検証法 ・国土交通大臣による認定が必要	全館避難安全性: 上記に加えて、防火区画などの仕様の適用が除外される。

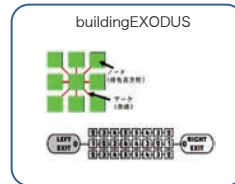
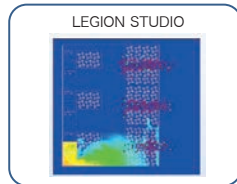
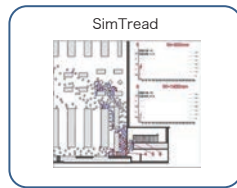
- ※ 避難シミュレーションのルートCへの適用は進んでいないのが実情
- ルートBよりも危険側の結果が得られることが多い
 - 避難行動モデル、避難シナリオが標準化されていないため妥当性の判断が難しい

東京消防庁 優良防火対象物認定表示制度 (「優マーク」)

優良防火対象物認定表示制度	
概要	防火対象物の管理権限者が申請する消防署が審査、検査し認定を行う認定を受けると、東京消防庁HPで公表建物の玄関、受付、ホームページ、パンフレットなどに「優マークを表示」
審査項目	【法令適合状況】 ・ 消防法令に適合しているか ・ 建築法令に適合しているか 【その他】 ・ 避難安全性が検証されているか ・ 自衛消防隊の編成及び活動能力が適切に確保されているか ・ 自主的、意欲的な各種防火対策を実施しているか ・ 過去2年以内に消防法令による命令又は警告等を受けたことがないか

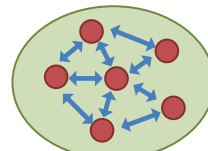
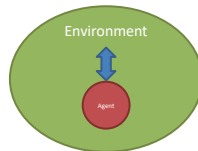
火災避難シミュレーション、階避難安全検証法(建令第129条の2の2)、新・建築防火計画指針の計算手法等を活用し、各階において階避難完了時間が階避難限界時間を超えないことを確認

東京消防庁の避難算定法に認定された避難シミュレーション



エージェントベースモデルによる避難シミュレーション

- エージェント
 - ▶ ある環境を認識して自律的に動作するシステム（人工知能分野）
 - ▶ 主体性のある構成要素（複雑系科学分野）
- エージェントベースシミュレーション
 - ▶ 複数のエージェントの局所的な相互作用から巨視的な現象を**創発**
 - ▶ コンピュータの中に人工社会を作り分析する方法
 - ▶ トップダウンではなく、ボトムアップな方法



エージェントベースモデルによる避難シミュレーション

- 避難シミュレーションへの適用
 - ▶ 災害空間（環境）の中で在館者（エージェント）同士のインタラクションから群集流動や避難性状が再現される
- 簡易計算と比較した長所
 - ▶ 個々の在館者の行動の経時変化が動画像として出力
 - ▶ 避難上ボトルネックになる地点や密集地点での群集の大きさを視覚的に把握しやすい



buildingEXODUS
<http://ftp.forum8.co.jp/forum8/bip/pdf/EXODUS-201011.pdf>



MassMotion
https://www.oasys-software.com/media/Manuals/Latest_Manuals/MassMotion.pdf







エージェントベースモデルによる避難シミュレーション

- 新しい避難行動モデルの提案・現象の解明
 - ▶ 学際的な研究領域（建築・土木・数理・情報・人工知能など）
- 建築設計実務用に研究開発されているもの
 - ▶ 大手建設会社各社
- パッケージソフトウェアとして市販
 - ▶ SimTread
 - ▶ buildingEXODUS
 - ▶ Pathfinder
- コンサルティングサービス



避難シミュレーションの国内研究（1970年代～1990年代）

開発者	機関	空間モデル	対象	専門分野	年代
堀内	京都大	ネットワーク 	建築物	建築	1977～
岡田	大阪大	メッシュ 	都市（大阪市）	建築	1979～
岡崎	京都大	連続 	建築物	建築	1979～
渡辺	早稲田大	メッシュ 	建築物	建築	1980～
海老原	東京理科大	連続+ネットワーク	建築物	建築	1995～
...

- ✓ 計算機の性能の問題から、大規模かつ詳細な避難計算は困難
- ✓ 空間が大規模になると、ある範囲における避難者の流入出量により群集を表現するものが多い。



避難シミュレーションの国内研究（2000年代～）

研究者	研究機関	モデル	対象	専門分野	年代
野田	産総研	メッシュ	都市	情報	2003～
西成	東京大	メッシュ	建物部分	複雑系 数理科学	2004～
後藤	京都大	連続	建物部分、都市	土木	2004～
安福	大阪大	メッシュ+連続	建物、地下	建築	2005～
目黒	東京大	メッシュ	建物、都市	土木	2007～
木村	早稲田大	メッシュ+連続	建物	建築	2009～
...

- ✓ 複雑系科学の立場から数理モデルを用いて群集流の現象を解明
- ✓ マルチエージェント手法が定着



大手建設会社

建設会社	ソフトウェア
大林組	SD-MAS (Smoke Diffusion and Multi Agent Simulation Model)
鹿島建設	人・熱・煙連成避難シミュレータ PSTARS
清水建設	エージェントベース言語Repastによる避難シミュレーションモデル
大成建設	マルチエージェント型の避難シミュレーション (MAS) , BIMデータ対応
竹中工務店	歩行者シミュレーションシステムSimTread

吉野謙淳他：マルチエージェントモデルによる火災時避難安全性評価技術の開発。大林組技術研究所報。No. 77, 2013.12

井田卓造：階段シミュレータおよび人・熱・煙連成避難シミュレータ (PSTARS)。日本火災学会 火災誌。65, 3, pp.20-25, 2015

掛川 秀史, 関沢 愛：火災時における建物の避難安全性評価のための避難シミュレーションモデル。日本リスク研究学会誌。23, 4, pp.241-248, 2013

五十嵐さやか, 中村正寿, 坂本成弘：マルチエージェントシミュレーションによる地震時避難に関する検討。大成建設技術センター報第44号, 2011

木村謙, 佐野友紀, 林田和, 竹市尚広, 峯岸良和, 吉田克之, 渡辺仁史：マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現 - 歩行者シミュレーションシステムSimTreadの構築 -。日本建築学会計画系論文集。74, 636, pp.371-377, 2009

主な市販のパッケージソフト

名称	開発元	国
SimTread	A&A, 早稲田大学	日本
buildingEXODUS	Fire Safety Engineering Group (FSEG), University of Greenwich	イギリス
STEPS	Mott MacDonald / Hoffmann & Henson	イギリス
Legion Studio	Legion Limited	イギリス
Myriad II	Keith Still	イギリス
MassMotion	Oasys Software (現在Arupの子会社)	イギリス
Simulex	IES (Integrated Environmental Solutions)	イギリス
FDS + Evac	VTT, NIST, Helsinki University of Technology, University of Helsinki	フィンランド
Pathfinder	Thunderhead Engineering	アメリカ
VISSIM	PTV Planung Transport Verkehr AG	ドイツ
PedGo	TraffGo HT	ドイツ
PEDESTRIAN DYNAMICS	INCONTROL Simulation Solutions ユトレヒト大学	オランダ

NIST: A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition

Model	Available to public	Modeling Method	Purpose	Grid/Structure	Perspective of MO	Behavior ^a	Movement	Fire data	CAD	Visual	Valid
EVACNET4	Y	M-O	1	C	G	N	UC	N	N	N	FD
WAYOUT	Y	M	5	C	G	N	D	N	N	2-D	FD
STEPS ^b	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1, 2	Y	2,3-D	C,FD,PE
PEDROUTE	Y	PB	3	C	G	I	D	N	Y	2,3-D	N
Simulex ^c	Y	PB	1	Co.	I	I	ID	N	Y	2,3-D	FD,PE,3P
Gridflow	Y	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2,3-D	FD,PE
FDS+Evac ^d	Y	PB	1	Co.	I	L, C, P	ID	Y3	N, Y	2,3-D	FD,PE,OM
Pathfinder 2009 ^e	Y	PB	1	Co.	I, G	I	D, ID	N	Y	2,3-D	C,FD,PE,OM
SimWalk ^f	Y	PB	1,3	Co.	I	C, P	P	N	Y	2,3-D	FD,PE,3P
PEDFLOW ^g	Y	B	1	Co.	I	C, P	ID	Y2	Y	2,3-D	PE
PedGo ^h	Y, N1	PB, B	1	F	I, I, G	I, C, P	P, E (CA), C	Y2	Y	2,3-D	FD,PE,OM,3P
ASERF	Y	B-RA	1	Co.	I	C, P	ID	Y1, 2	Y	2,3-D	FD, PE
BHESQ ⁱ	Y	B	1	F	I	C, P	P, E	Y1, 2	Y	2,3-D	FD,PE,OM,3P
Legion ^j	Y, N1	B	1	Co.	I	AI, P	ID, C	Y1	Y	2,3-D	C,FD,PE,3P
SpaceSense ^k	Y	B	3	Co.	I	C, P	C, Ac, K	N	Y	2,3-D	FD, OM
EPF ^l	Y, N1	B	1	F	I	AI	UC, C	Y2	Y	2,3-D	FD
Myriad II ^m	Y, N1	B	1	C, F, Co.	I	AI	D, UC, IP, Ac, K	Y1	Y	2,3-D	PE, 3P
MassMotion ⁿ	Y, N1	B	1	Co.	I, I, G	AI, P	C	N	Y	2,3-D	C,FD,PE,OM
Pathfinder	N1	M	1	F	I, G	N	D	N	Y	2-D	N
ALLSAFE	N1	PB	5	C	G	I	U, F	Y1, 2	N	2-D	OM
CRISP	N1	B-RA	1	F	I	C, P	E, D	Y3	Y	2,3-D	FD
EGRESS 2002	N1	B	1	F	I	C, P	P, D (CA)	Y2	N	2-D	FD
SOEM ^o	N1	PB	1	Co.	I	I	D	N	Y	2-D	FD, OM
EXIT99	N2	PB	1	C	I	I, C, P	D	Y1	N	2-D	FD, 3P
MASSegress ^p	N2	B	1	Co.	I	C, AI	C	N	Y	2,3-D	PE, OM
Evacuation2 ^q	N2	B	1	C	I, G	I, C, P	D, UC	Y2	Y	2-D	FD, PE, OM

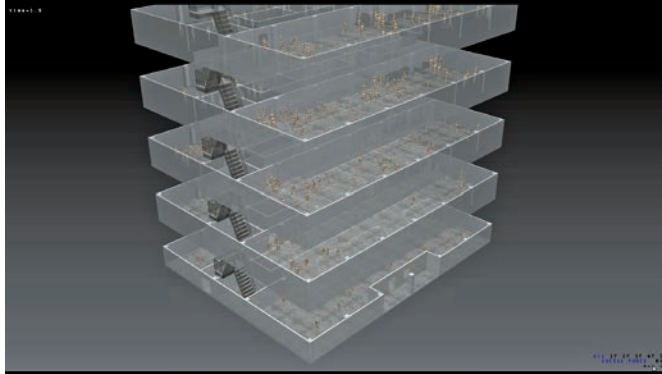
^aOnly the underlying methods used by the algorithm are listed. In some instances users can define other options.

^bModel developers NIST provided an update on the model's development in Spring 2009.

^cModel developers NIST provided an update on the model's development in Fall 2010.

Kuligowski, E., Peacock, R., Hoskins, B.: A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition, NIST Technical Note, 1680 (2010)

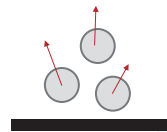
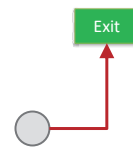
避難行動モデルの実装例



安福健祐, "避難行動フレームワークを用いた群集歩行モデルの比較分析と避難安全検証への適用性"
日本建築学会計画系論文集 第75巻 第655号, pp.2081-2088, 2010.9

エージェントベースモデル共通の手法

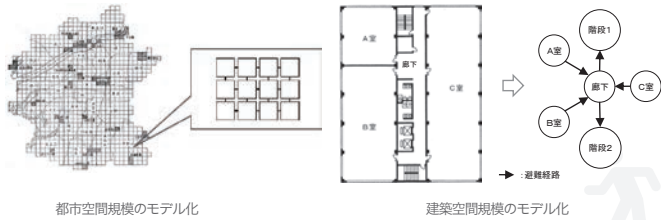
- 大域的 (Macroscopic) 行動
 - ▶ 空間モデル
 - ▶ エージェントが認識する環境
 - ▶ ネットワーク構造による経路探索
 - ▶ 経路選択モデル
 - ▶ 目的地までの避難経路決定
- 局所的 (Microscopic) 行動
 - ▶ 群集歩行モデル
 - ▶ 他の在館者や障害物との衝突回避しながら避難経路に沿って移動する



空間モデルの種類と精緻化

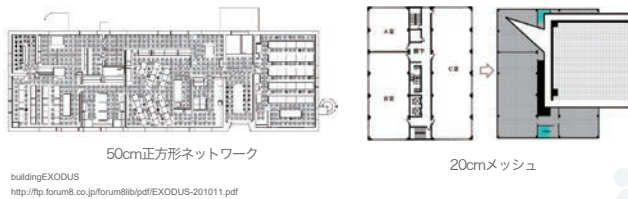
空間モデル：ネットワークモデル

- 大きいメッシュ、ネットワークモデル
 - ▶ **Coarse Network (粗ネットワーク)**
 - ▶ 一つのノードに避難者が複数配置される
 - ▶ 空間の形状を反映できない
- 簡易な避難計算手法と相性がよい



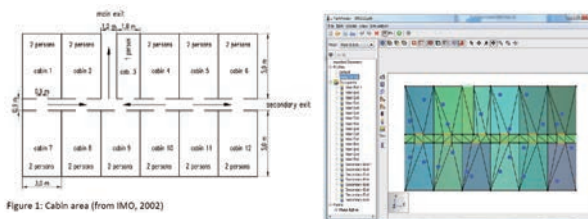
空間モデル：ネットワークモデルの微細化

- 小さいセル（メッシュ）でネットワークを構築
 - ▶ **Fine Network (微細ネットワーク)**
 - ▶ 一つのノードに避難者が一人（一部）配置される
 - ▶ 空間の形状を反映できる
- エージェントモデルと相性がよい

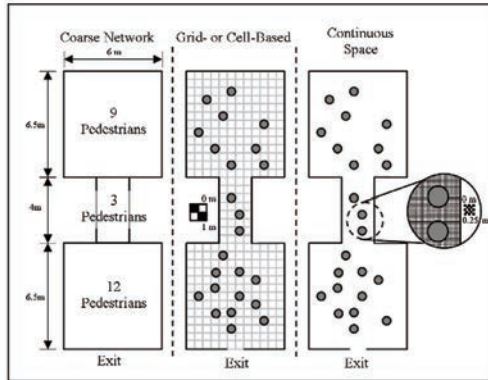


空間モデル：連続座標モデル+ネットワークモデル

- 空間形状を連続座標で表現
 - ▶ 空間の形状がそのまま反映される
- 歩行可能領域や避難経路算出用に最適なデータ構造を別を持たせる
 - ▶ **ナビゲーションメッシュ (ビデオゲームAIで一般的な手法)** 等



空間モデルのまとめ



C. J. E. Castle, et al., "A Comparison of Grid-based and Continuous Space Pedestrian Modelling Software: Analysis of Two UK Train Stations", Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2011

空間モデル：ハイブリッド構造、階層構造



Figure 2: MassMotion Evolution of a Floor-Link System into a Network

"MassMotion The Verification and Validation of MassMotion for Evacuation Modelling", ARUP, 2015

N. Chooramun, P. J. Lawrence and E. R. Galea, "Implementing a Hybrid Space Discretisation Within An Agent Based Evacuation Model", PED 2010

Grid-based vs. Continuous Space

- イギリスの2つの駅舎でグリッド（セル）ベースと連続座標ベースの空間モデルを使用して、歩行者の動きを比較した研究
 - ▶ グリッドベース：STEPS 4.0
 - ▶ 連続座標：Legion Studio 2006
- 結果は非常に似ていた
 - ▶ ピーク15分の累積平均群集密度

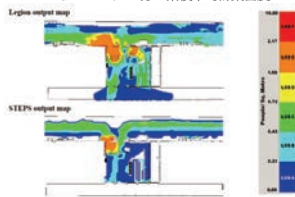


Fig. 3. Legion (top) and STEPS (bottom) cumulative mean density (Walkway LOS) output maps for the 2012 A31 peak 15 minutes (08:00-08:15).

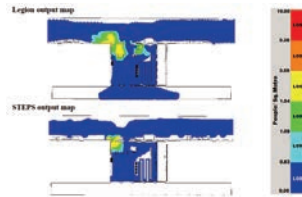


Fig. 4. Legion (top) and STEPS (bottom) cumulative mean density (Queueing LOS) output maps for the 2012 A31 peak 15 minutes (08:00-08:15).

C. J. E. Castle, et al., "A Comparison of Grid-based and Continuous Space Pedestrian Modelling Software: Analysis of Two UK Train Stations", Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2011

Grid-based vs. Continuous Space

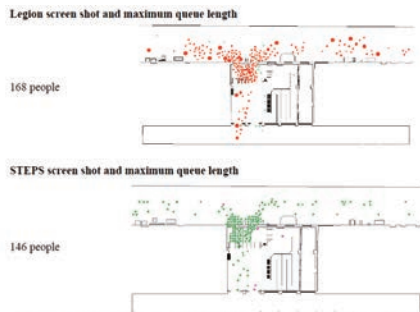


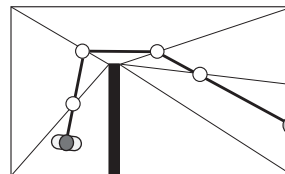
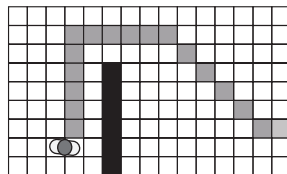
Fig. 5. Legion (top) and STEPS (bottom) output of gate-line queue length and a screenshot of passenger circulation at the busiest egress period during the 2012 AM peak (08:56)

C. J. E. Castle, et al., "A Comparison of Grid-based and Continuous Space Pedestrian Modelling Software: Analysis of Two UK Train Stations", Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2011

経路選択モデルの種類と精緻化

経路選択モデル：最短経路探索

- 避難経路として出口までの最短経路を採用するものが多い
 - ▶ 空間モデルのネットワーク構造から最短経路探索
 - ▶ ダイクストラ法
 - ▶ A*探索



経路選択モデル：最短経路探索

- 避難経路として出口までの最短経路を採用するものが多い
 - ▶ 空間モデルのネットワーク構造から最短経路探索
 - ▶ ダイクストラ法
 - ▶ A*探索



経路選択モデル：距離マップ（ポテンシャルマップ）

- 各セルに対して出口までの距離を事前に計算して保存
- 在館者が周囲のセルから距離が小さくなる方向のセルを選択
- 距離以外の重み（ポテンシャル）を持たせることも可能

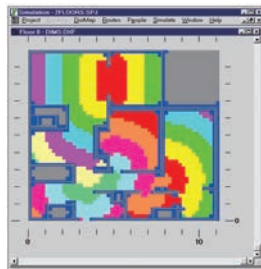


Figure 6: Sample distance map

Egress: Simulx User Guide, Integrated Environmental Solutions Limited, 2014



Figure 6: Subdivided room for door distance map



Pathfinder Technical Reference, Thunderhead Engineering Consultants Inc., 2009



経路選択モデル：複数の経路選択

- 在館者の属性により異なる避難経路
 - ▶ 人間の経路探索（Wayfinding）再現
 - ▶ 最寄りの非常口を無視して建物に入ってきたときの経路を選択する
 - ▶ 誘導灯に従う
- 複数のポテンシャルマップ
 - ▶ 在館者ごとに異なるポテンシャルマップを参照



MassMotion Help Guide, Oasys Software Limited, 2017

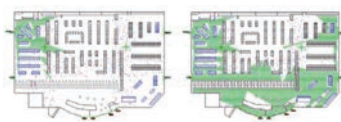


図2.37: (a) 単一階層の視認範囲、(b) 全階層の視認範囲

株式会社フォーラムエイト・buildingEXODUSマニュアル, 2008.1

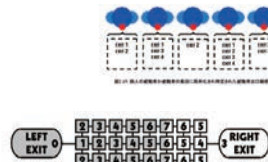
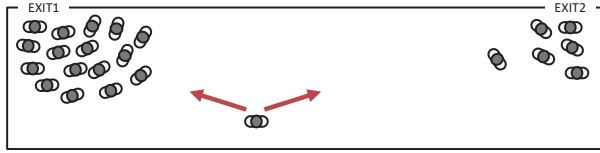


図2.14: 左出口がより誘引的な図2.13(a)のようなポテンシャルマップ



経路選択モデル：最短（最適？）時間経路



$$Cost = \left(W_D \times \left(\frac{D_C}{V} \right) \right) + (W_Q \times Q) + (W_L \times L)$$

where:

$Cost$ = perceived total travel time along the route (s).

W_D = 'distance' weight (agent property) (-);

D_C = total distance from the agent position to the ultimate goal (m);

V = desired velocity of the agent (agent property) (m/s);

W_Q = 'queue' weight (agent property) (-);

Q = expected time in queue before reaching link entrance (s);

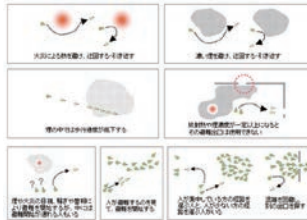
W_L = 'geometric component traversal' weight (agent property) (-);

L = geometric component type cost (s).

"MassMotion The Verification and Validation of MassMotion for Evacuation Modelling", ARUP, 2015

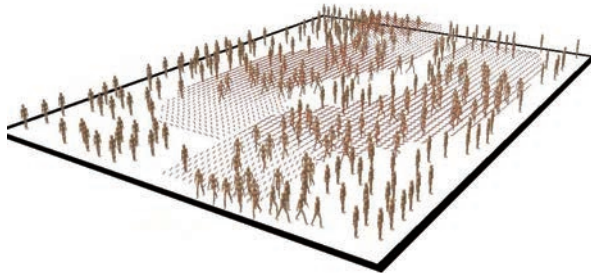
経路選択モデル：経路選択の精緻化

- 災害の影響
 - ▶ 熱・煙を避けて迂回
- 他の在館者の影響
 - ▶ 他の在館者についていく
 - ▶ 混雑している出口は避ける
- **ポテンシャル値を動的に変化させること**でモデル化可能
- セルオートマトン（後述）分野では動的フロアフィールドとも呼ばれる
- **Validationが困難**



鹿島建設株式会社プレスリリース：
火災時の高度な避難シミュレーションシステム「人・熱・煙・成層シミュレータ PSTARS」の開発と展開
2014.7.30

経路選択モデル：任意のFird Force



群集歩行（衝突回避）モデルの種類と精緻化

群集歩行モデル（衝突回避モデル）

- 力学ベース（連続座標）
 - ▶ Social Forceモデル
+ 視覚情報
 - ▶ 磁気モデル
 - ▶ 個別要素法
- セルオートマトン（離散座標）
 - ▶ 離散時間、離散空間、近傍のセルのみ参照
 - ▶ 統計力学的なアプローチ
- その他
 - ▶ ロボティックス
 - ▶ CGアニメーション
 - ▶ 独自ルール

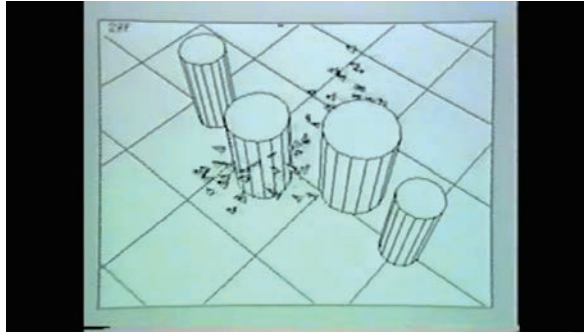
力学ベース：動物の群れを表現するモデル（BOIDS）

鳥の行動ルールを三つ抽出（Steering Behavior）

- ▶ 分離（Separation）行動
 - ▶ エージェントに近づきすぎたらぶつからないように離れる
- ▶ 整列（Alignment）行動
 - ▶ エージェントと速度を合わせようとする
- ▶ 結合（Cohesion）行動
 - ▶ エージェントが多くいる方へ向かう



力学ベース：動物の群れを表現するモデル (BOIDS)



Craig W. Reynolds, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", Siggraph '87, pp.25-34, 1987.7

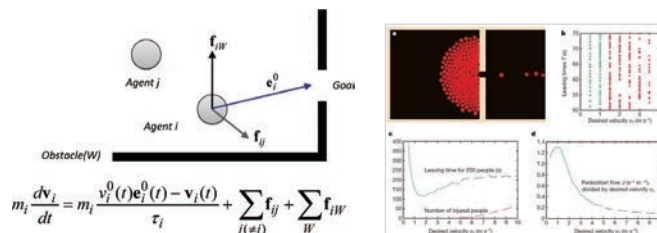
マルチエージェントシステムによる生物の群れの表現

- ▶ 単純なルールを組み合わせることで、現実の鳥の群れを想起させるようなシミュレーションが可能 (複雑系)
- ▶ 具体的には、三つの要素を物理的な力で表現した力学モデルとして、各エージェントの運動方程式を解く。
- ▶ エージェントは「パーティクル」という粒子として扱われる。
- ▶ 粒子は分子のような物質的な粒子とは異なり、エネルギーの保存や作用反作用の法則を満たさない自己駆動粒子 (self-driven particle) と呼ばれる。

力学ベース：群集歩行モデル

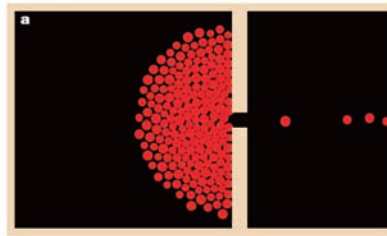
■ Social Forceモデル

- ▶ 社会心理学的な要素と物理的な力を結びつけた力学モデル
- ▶ エージェントを一定の質量と大きさを持つ粒子で近似
- ▶ 他のエージェント、壁などの障害物、移動目標から受ける力の相互作用で運動方程式を解く
- ▶ 'faster-is-slower effect' 等の自己組織化現象



Helbing, D., Farkas, I., Vicsek, T. "Simulating Dynamical Features of Escape Panic", Nature. 407(2000), pp.487-490

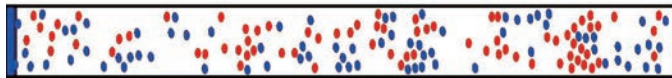
Faster-Is-Slower Effect



- ▶ エージェントが急いで開口部を通り抜けようとするほど、群集全体が通過するのに要する時間が長くなる（アーチ現象）
- ▶ エージェントの性急な行動により、群集流のバランスが崩れて危険な状態が現れる例

Dirk Helbing, Anders Johansson, "Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics," Encyclopedia of Complexity and Systems Science 16, 6476-6495 2013.9

レーン形成 (lane formation)



- ▶ 対向する群集流において、一定方向のレーンが形成される
- ▶ エージェント同士の局所的な相互作用だけで、群集全体としての Collective Intelligence が現れる例

Dirk Helbing, Anders Johansson, "Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics," Encyclopedia of Complexity and Systems Science 16, 6476-6495 2013.9

Freezing-by-heating

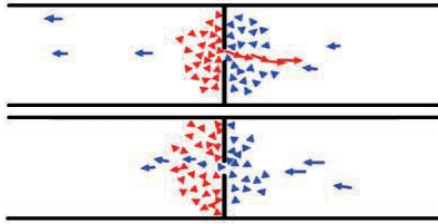


進行方向: ← ● ● →

- ▶ 対向する群集流において、エージェントの追い越しや、方向転換などによって、形成されていたレーンが崩れ、流れが止まってしまう
- ▶ エージェントの性急な行動により、群集流のバランスが崩れて危険な状態が現れる例

Dirk Helbing, Anders Johansson, "Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics," Encyclopedia of Complexity and Systems Science 16, 6476-6495 2013.9

振動流 (Oscillatory Flows at Bottlenecks)



- ▶ 対向する群集流がある開口部において流れが交互に入れ替わる
- ▶ エージェント同士の局所的な相互作用だけで、群集全体としての Collective Intelligence が現れる例

Dirk Helbing, Anders Johansson, "Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics," Encyclopedia of Complexity and Systems Science 16, 6476-6495 2013.9

Stripe Formation in Intersecting Flows



- ▶ 二方向で交差する群集流において縞模様が形成されることで歩行者が停止することない。
- ▶ エージェント同士の局所的な相互作用だけで、群集全体としての Collective Intelligence が現れる例

Dirk Helbing, Anders Johansson, "Pedestrian, Crowd, and Evacuation Dynamics," Encyclopedia of Complexity and Systems Science 16, 6476-6495 2013.9

人間形状の精緻化



Figure 2. The shape of the human body is approximated by a combination of three overlapping circles. Shown are also the definitions of the body size variables.



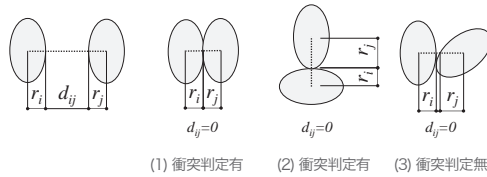
Figure 11. The Definition of a 'Body' within Simlex.

- ▶ エージェントの平面形状を円形 (直径50cm-60cm) で近似する場合は多い
 - ▶ 現実に起こり得る高密度な群集 (50人/m以上) を扱うことができない
- ▶ 人間形状の精緻化
 - ▶ 複数の円の組み合わせ、楕円

Korhonen, T. and Heliovaara, S.: FDS+Evac: Modelling Pedestrian Movement in Crowds, Pedestrian and Evacuation Dynamics, pp 823-826 (2011)

Egress: Simulex User Guide, Integrated Environmental Solutions Ltd. (2014)

人間形状の精緻化と衝突判定



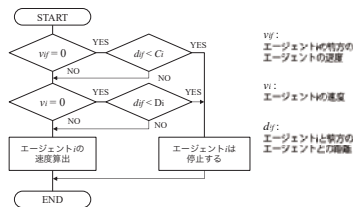
- ▶ エージェントの形状を楕円で近似し、人の肩幅方向と体の厚み方向の大きさの違いが表現
- ▶ エージェント*i*の半径*r_i*を、相手のエージェント*j*のいる方向に対する楕円の動径（長径から角度θの位置での半径）とする

安福健祐, "マルチエージェントシステムによる歩行者行列の再現と追従行動が及ぼす群集流動の分析," 日本建築学会計画系論文集 第81巻 第722号, pp.821-829, 2016.4

追従行動のモデル化

$$v = \frac{d - 0.36}{1.06}$$

Steyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W., Lippert, T., Boltes, M.: The Fundamental Diagram of Pedestrian Movement: Revised — Empirical Results and Modelling, Traffic and Granular Flow'05, pp.305-314, 2007



- ▶ 行列内のエージェントが歩行しており、前方のエージェントが停止
 - ▶ 距離が*C_i*以下の場合、衝突を回避するためSocial Forceの目標速度を0にする
- ▶ 行列内のエージェントが停止しており、その前方のエージェントが歩行
 - ▶ 距離が*D_h*以下の場合、エージェントは停止したままSocial Forceの目標速度を0にする
- ▶ 上記以外の状態においては、Fundamental Diagramを元に歩行速度を設定

安福健祐, "マルチエージェントシステムによる歩行者行列の再現と追従行動が及ぼす群集流動の分析," 日本建築学会計画系論文集 第81巻 第722号, pp.821-829, 2016.4

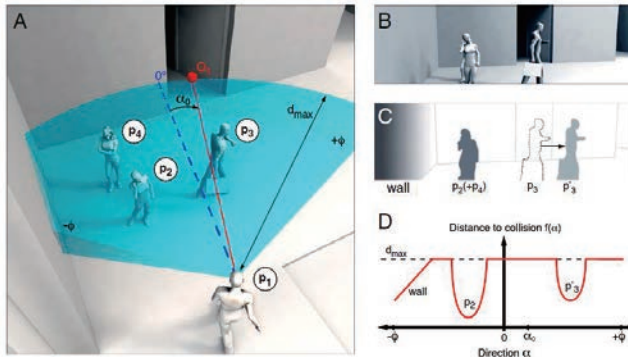
観測結果とシミュレーションの比較



- ▶ 行列内を人が移動している状態で、先頭の人が一時的に停止する状態を設定
- ▶ 高密度で静止している部分と低密度で歩行している部分に分かれる
- ▶ 時間経過とともに高密度部分が行列の後方に伝播していく (stop-and-go wave)

安福健祐, "マルチエージェントシステムによる歩行者行列の再現と追従行動が及ぼす群集流動の分析," 日本建築学会計画系論文集 第81巻 第722号, pp.821-829, 2016.4

人間の認知特性を精緻化



Moussaid, M., Helbing, D. and Theraulaz, G.: How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 108, 17, pp.6884-6888, 2011

セルオートマトン：Floor Field CA Model

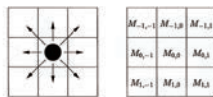


Fig. 1. A particle, its possible transitions and the associated matrix of preference $M = (M_{ij})$.



Fig. 3. People leaving a room with one door only. Displayed are three typical stages of the dynamics.

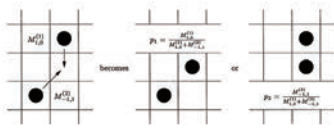


Fig. 2. Solving conflicts according to the relative probabilities for the case of two particles with matrices of preference $M^{(1)}$ and $M^{(2)}$.

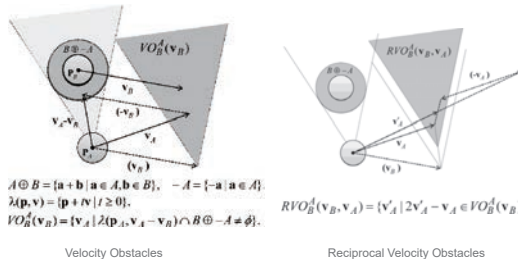
- ▶ セルベースの空間モデルを用いて一つのセルには在館者が1人しか存在できない条件を与えて衝突回避を行う
- ▶ 在館者は、近隣のセルから他の在館者のいないセルに向かって、ポテンシャル値と歩行速度に応じた遷移確率で移動する
- ▶ セルオートマトンは離散時間、離散空間、近隣のセルのみを参照するルールから計算負荷が低いことが利点
- ▶ 統計力学と相性がよく、単純な規則から複雑な群集流動が発生するメカニズムを数理的に説明するのに用いられる

Nishinari, K., Kirchner, A., Namazi, A. and Schadschneider, A.: Extended Floor Field CA Model for Evacuation Dynamics, IEICE Trans. Inf. Syst., E87-D, 3, pp.726-732 (2004)

ロボティックスの応用モデル

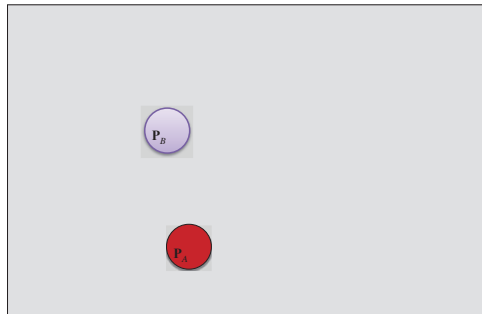
■ RVOモデル

- ▶ Velocity Obstaclesという概念をベースに群集シミュレーションに拡張
- ▶ Velocity Obstacles：ロボティックスの分野で開発された移動物同士の衝突回避を行うアルゴリズムの一つ

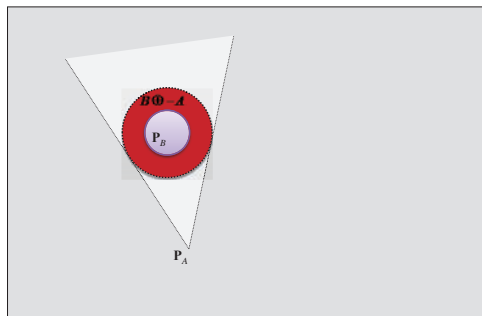


Jur van den Berg, Ming Lin, Dinesh Manocha, "Reciprocal Velocity Obstacles for Real-Time Multi-Agent Navigation", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation - ICRA'08(2008), pp. 1928-1935

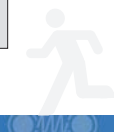
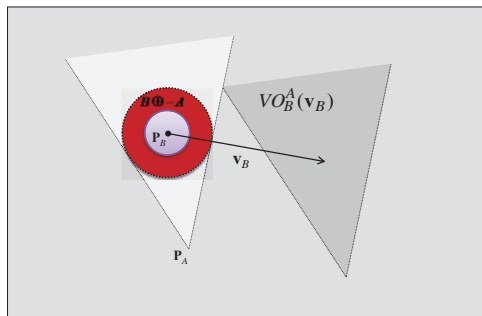
Velocity Obstacles



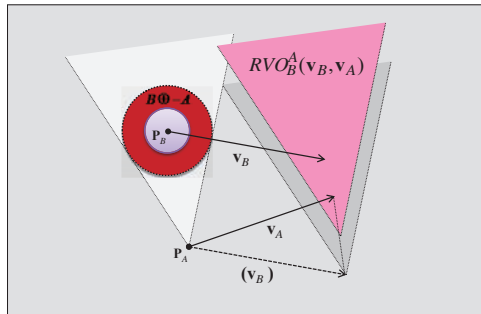
Velocity Obstacles



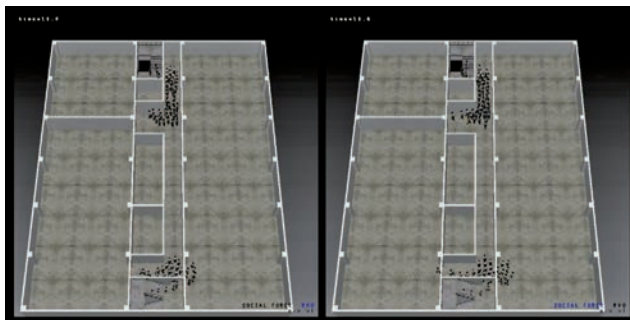
Velocity Obstacles



Reciprocal Velocity Obstacles



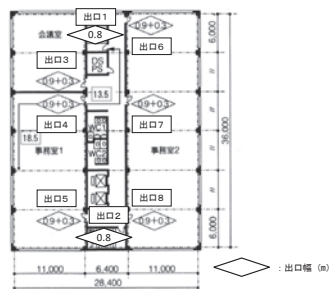
Social Force vs. RVO 実装テスト



- Social ForceモデルのほうがRVOモデルよりもアーチアクションが再現され、流動係数にばらつきが少ない
- 群集密度と歩行速度に関しては、RVOモデルのほうが観測実験に近い

Social Force vs. RVO

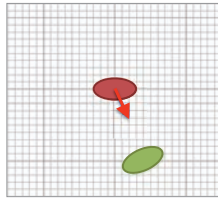
		群集流動係数(人/m ² ・秒)			
		0.5	1.0	1.5	2.0
階段1	出口1	[Social Force]			
		[RVO]			
階段2	出口2	[Social Force]			
		[RVO]			
会議室	出口3	[Social Force]			
		[RVO]			
事務室1	出口4	[Social Force]			
		[RVO]			
事務室2	出口5	[Social Force]			
		[RVO]			
事務室2	出口6	[Social Force]			
		[RVO]			
事務室2	出口7	[Social Force]			
		[RVO]			
事務室2	出口8	[Social Force]			
		[RVO]			



- 居室の出口の流動係数は1.5人/m²・秒より小さくなっている。
- 避難開始直後に避難者全員が出口に到達しておらず、群集密度が低い状態が続いたため。

安福健祐, "避難行動フレームワークを用いた群集歩行モデルの比較分析と避難安全検証への通用性"
日本建築学会計画系論文集 第75巻 第655号, pp.2081-2088, 2010年

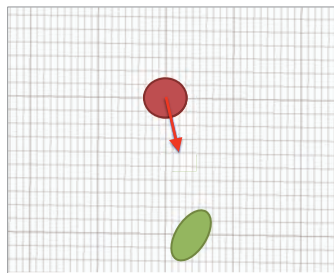
楕円型RVOモデル



- 2楕円の衝突判定は、円と比較して計算が複雑
- 高速な楕円衝突判定処理を行う「楕円型RVOモデル」を開発
 - ▶ 座標変換による行列演算を多用することで高速化

安福健祐, "楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現," 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.187-190, 2011.2

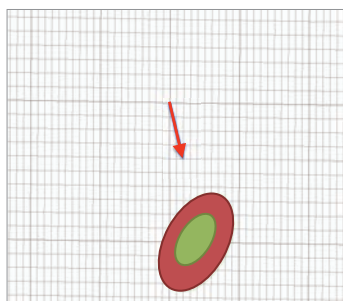
楕円型RVOモデルにおける衝突判定プロセス (1)



- 一方の楕円が円になるような変換行列を算出
- 変換行列により、一方の楕円が円、他方の楕円は歪楕円に変換される

安福健祐, "楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現," 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.187-190, 2011.2

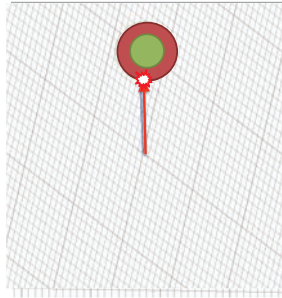
楕円型RVOモデルにおける衝突判定プロセス (2)



- 円の半径を歪楕円に加える
- 円と歪楕円の衝突判定を点と歪楕円の衝突判定に置き換える

安福健祐, "楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現," 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.187-190, 2011.2

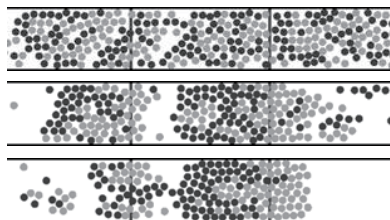
楕円型RVOモデルにおける衝突判定プロセス (3)



- さらにこの歪楕円を円に変換する行列を算出
- 点と円の衝突判定に置き換える

安福健祐, "楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現," 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.187-190, 2011.2

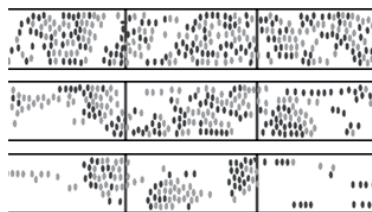
二方向の群集流動 (RVOモデル)



- シミュレーション画面からは、RVOモデルが測定範囲の右側において群集同士がぶつかり合った状態で滞留が生じていることを確認できる。

安福健祐, "楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現," 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.187-190, 2011.2

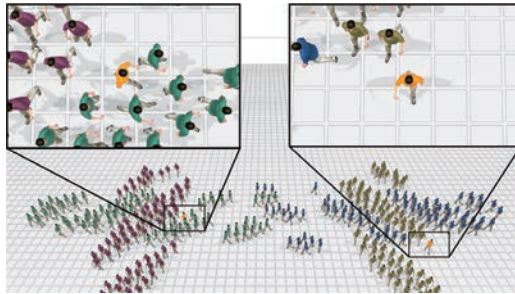
2方向の群集流動 (楕円型RVOモデル)



- 楕円型RVOモデルは、群集同士が衝突することのないように回避
- 直前に同方向者がいればそれに追従する方向に進んでいる
- 対向する群集が帯状の流れを形づくってすれ違う「層化現象」が確認できる
- 群集流動の観測に基づく既往研究においては、流動密度が3.5人/m²でも対向流が生じることから、楕円型RVOモデルを用いることで現実に取り得る高密度状態の対向流が再現されることを示した

安福健祐, "楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現," 日本建築学会技術報告集, 第17巻, 第35号, pp.187-190, 2011.2

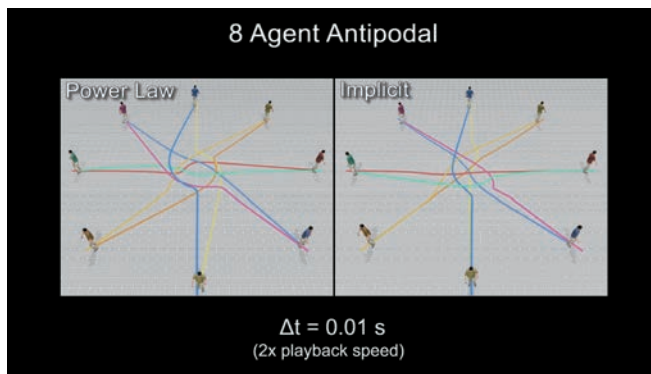
最先端のCG分野における群集シミュレーション



- 物理ベース（エネルギーベース）手法
- Implicitな手法でタイムステップを大きくとることができる（Robustness）

Karamouzas, I., Sohre, N., Narain, R. and Guy, S. J.: Implicit Crowds: Optimization Integrator for Robust Crowd Simulation, ACM Transactions on Graphics (TOG), 36, 4, 136 (2017)

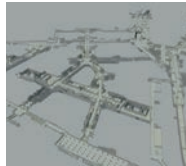
CG分野における群集シミュレーション



Karamouzas, I., Sohre, N., Narain, R. and Guy, S. J.: Implicit Crowds: Optimization Integrator for Robust Crowd Simulation, ACM Transactions on Graphics (TOG), 36, 4, 136 (2017)

大規模避難シミュレーション

大型・複合型施設の避難・広域避難への適用

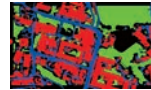


合田祥子, 谷口与史也, 吉中進, 藤澤康志,
「大阪駅前地下街の津波避難計画に関する研究」
日本建築学会大会学術講演梗概集 (近畿)
pp.147-148, 2014



地図データ

衛星写真データ



避難経路データ

地図データベースを利用した広域避難への適用
研究代表者 中澤篤志、研究分担者 安宿健祐
「三次元データ認識による災害状況自動計測システムの研究開発」
総務省SCOPE 若手ICT研究者育成型研究開発 (ICT安心・安全技術) , H19~H21

▶ 避難シミュレーションの計算負荷の問題

大規模地下街の避難シミュレーション



避難シミュレーションの設定

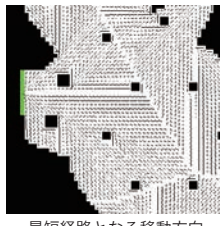
- ▶ 対象：大阪梅田地下街
 - ▶ 東西約1.1km, 南北約1.1km
 - ▶ 南海トラフ巨大地震が発生した場合に最大で2mの津波を想定されている
 - ▶ 津波災害を含め河川氾濫や内水氾濫等による浸水対策急務
 - ▶ エージェント数：2万5000人
 - ▶ シナリオ：一斉に最寄りの階段まで避難

大規模地下街の避難シミュレーション

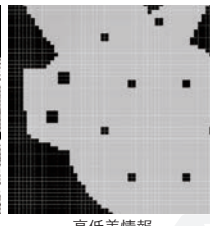
- ▶ 地下1階を一边50cmの格子状メッシュに分割
- ▶ 各メッシュに障害物、出口、移動方向ベクトルや高低差情報などを保持する



梅田地下街メッシュデータ

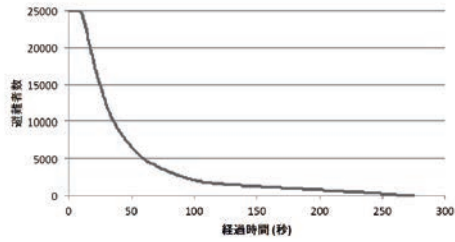


最短経路となる移動方向

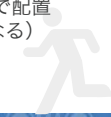


高低差情報
(グレースケール)

大規模地下街の避難シミュレーション結果



- ▶ 約80%の避難者は避難開始約1分後には避難を完了
- ▶ 初期設定として、2万5千人のエージェントを一定密度で配置し、全員が一斉に最短経路で避難を開始（現実とは異なる）
- ▶ 地下空間の避難安全特性を分析するための一つの指標



大規模地下街避難の3次元可視化



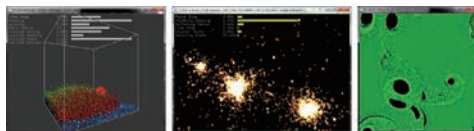
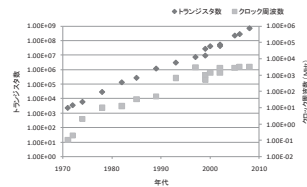
安福健祐, 藤澤重志, 高木尚哉, 谷口与史也. “高精度タイトルディスプレイを用いた大規模地下街避難の3次元可視化.” 日本脳学会2014年度秋季大会（東京）学術講演論文集, ISSN2189-0072, pp.139-142, 2014.11

GPUコンピューティング技術

■ GPU Computing



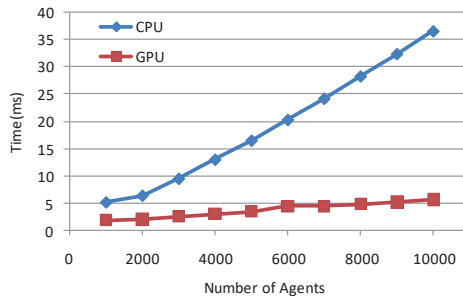
GPU



Parallel processing on GPU



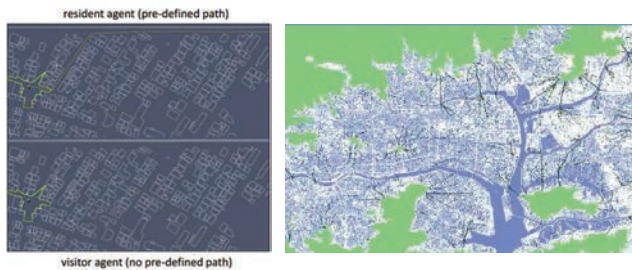
シミュレーションの性能評価 Performance Comparison



- ▶ スケーラビリティが向上
- ▶ エージェント 1 万 : GPUのほうが約7倍高速

Kensuke Yasufuku, "Scalable Evacuation Simulation and Visualization Using GPU Computing," Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012, Springer, ISBN 978-3-319-02446-2, pp.1365-1374, Mar.2014

京コンピュータを用いた避難シミュレーション



堀宗朗「スパコンを使う地震のシミュレーション～「京」の中で都市を揺らす～」

マルチエージェントモデルによる避難行動のシミュレーション
高知市を舞台とし、20万のエージェントが一定の行動パターンで避難するようすを「京」で計算した。

<http://www.aics.riken.jp/newsletter/201403/interview.html>

高性能計算による大規模避難解析の課題

- ▶ 避難エリアの広域化、エージェント数の大規模化
 - ▶ エージェントの処理が並列化できれば高性能計算が有効
 - ※ 並列計算実装コストの問題
 - ▶ フレームワーク (Repast HPC等) 活用の可能性
- ▶ 災害同時シミュレーション
 - ▶ 火災・煙・洪水・津波などのインタラクション
- ▶ シナリオを変えたシミュレーション
 - ▶ 数千、数万パターンで考えられる被害想定幅を見据える
 - ▶ 想定外をなくす
- ▶ 避難行動モデルの精緻化
 - ▶ 人間の心理モデル、認知モデル (視覚、聴覚)、意思決定モデル
 - ▶ グループ行動、介助行動
 - ※ 並列計算実装コストの問題
 - ※ モデルの検証と妥当性の確認が困難

検証と妥当性確認 (V&V)

Verification and Validation (V&V)

- 意図通りに動作すること (Verification)
- 現実の計測・実験データを用いて、シミュレーションを用いた現実現象の再現性を示す (Validataion)

居室移動

廊下移動

階段移動

- ▶ 自由歩行速度 (直線、屈曲)、群集密度と歩行速度

開口部通過

廊下合流

階段合流

- ▶ 滞留密度 (人/m²)、流動量 (人/s)

経路選択

出口選択

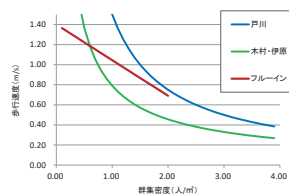
- ▶ 選択割合 (日常動線志向性、追従性、直進性、向光性、向開放性)

Validation例

- 群集流動係数
 - ▶ 戸川喜久二氏「群衆流の観測にもとづく避難施設の研究」に基づく値
 - ▶ 避難安全検証法での群集流動係数：1.5人/m・秒
- 実測・実験に基づく歩行速度と群集密度の関係との比較
 - ▶ 木村・伊原式 (べき乗モデル)
 - ▶ 戸川式 (反比例モデル)
 - ▶ フルーイン式 (直線モデル)

対象の アイディア	種 別	群集流動係数 (人/m ² ・秒)
避難停留	電車の出入口	0.5
	駅への階段	1.0
	電車の改札口	1.5
一般群衆	百貨店の出入口	0.5
	駅 (群衆)	1.0
	駅構内の階段	1.5
	公共場の出口	2.0

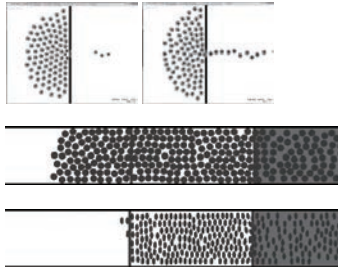
群集流動係数 (戸川喜久二氏による)



群集密度と歩行速度の関係

Validation例

- 各種避難行動モデルの比較分析
 - ▶ Social Forceモデル
 - ▶ RVOモデル
 - ▶ 楕円型RVOモデル



安福健祐：避難行動フレームワークを用いた群集歩行モデルの比較分析と避難安全検証への適用性，日本建築学会計画系論文集 第75巻 第655号，pp.2081-2088, 2010.9

安福健祐：楕円型RVOモデルを用いた高密度群集流動の再現，日本建築学会技術報告集 第17巻 第35号，pp.187-190, 2011.2

国際海事機関 (IMO) 旅客船の避難解析ガイドライン

- MSC/Circ. 1238
 - ▶ 実際の緊急事態をシミュレーションするのではなく、ベンチマークシナリオを使った性能評価が目的
 - ▶ 避難者の密集地点、危険のエリアを特定する
 - ▶ 乗客・クルーの安全はあくまでオーナーの責任
- Annex 3 : GUIDANCE ON VALIDATION/VERIFICATION OF EVACUATION SIMULATION TOOLS
 - ▶ Component testing
 - ▶ Functional verification
 - ▶ Qualitative verification
 - ▶ Quantitative verification



Figure 3: Transverse corridor

GUIDELINES FOR EVACUATION ANALYSIS FOR NEW AND EXISTING PASSENGER SHIPS, IMO MSC/Circ. 1238, 2007

Qualitative verification

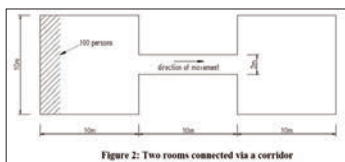


Figure 2: Two rooms connected via a corridor

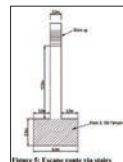


Figure 5: Escape route via stairs

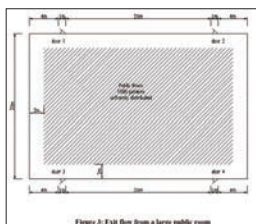


Figure 3: Exit flow from a large public room

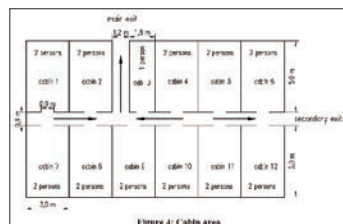


Figure 4: Cable area

GUIDELINES FOR EVACUATION ANALYSIS FOR NEW AND EXISTING PASSENGER SHIPS, IMO MSC/Circ. 1238, 2007

アメリカ国立標準技術研究所 (NIST) technical Note 1822

- MSC/Circ. 1238を援用した検証+ α
- Uncertainty (不確定性)
 - ▶ model input uncertainty : モデル入力不確定性
(例) 入力パラメータ (歩行速度ばらつき)
 - ▶ measurement uncertainty : 測定不確定性
(例) 歩行速度観測
 - ▶ intrinsic uncertainty : 固有不確定性
(例) モデル自体 (数理モデル)
 - ▶ behavioral uncertainty
(例) 人間行動を再現するための確率的要素
(例) 単一実験ではあらゆる行動は再現されない問題
観測データは希少、ほとんどが単一のデータ (信頼してよいか)
- ▶ Towards an average predicted occupant evacuation time-curve

Enrico Ronchi, et. al. The Process of Verification and Validation of Building Fire Evacuation Models, NIST technical Note 1822, 2013

国際的な避難行動調査



- ▶ 災害時、避難時の人間の行動における異文化間での比較調査を実施した国際プロジェクト
- ▶ 日本語版では国内の研究事例紹介

東日本大震災時の地震・津波避難に関する調査 (内閣府)

アンケート調査 (11,400人回答)

地震発生直後

津波の到達を意識した	6割弱
地震に関する情報を得ようとした	約5割
津波に関する情報を得ようとした	4割強

避難のきっかけ

揺れ具合による判断	5割弱
大津波警報、周囲からの呼びかけ	3割弱

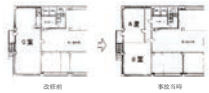
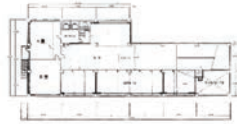
避難しなかった理由

過去の地震でも大きな津波が来なかった	約2割
大津波警報が発表されたのを知らなかった	2割弱

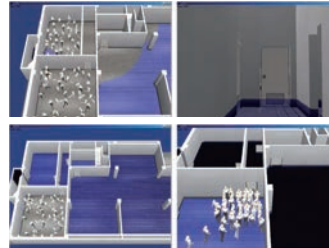
東日本大震災時の地震・津波避難に関する調査について <http://www.bousai.go.jp/jishin/tsunami/hinan/index.html>

災害の検証

- Flood in Fukuoka(1999)
 - ▶ One employee died



安福健社、阿部浩和、山内一見、吉田勝行・メッシュモデルによる避難シミュレーションシステムの開発と地下空間浸水時の避難に対する適用性。日本建築学会計画系論文集 第589号, pp.123-128, 2005.3



まとめ

- エージェントベースモデルによる避難シミュレーション
 - ▶ 実用化されているものには共通点が多くみられる
 - ▶ 空間モデル：ポテンシャル（距離）データ保持
 - ▶ 経路選択モデル：距離ベース+ α
 - ▶ エージェント同士のインタラクションによる群集歩行特性の再現
- 避難行動の精緻化の動向
 - ▶ 多様な経路選択（ポテンシャル・コスト計算・AI）
 - ▶ 最短時間経路選択、災害の回避、グループ行動
 - ▶ 衝突回避アルゴリズムの改良
 - ▶ 人間形状の再現、視覚的な認知特性考慮、ロバスト性
 - ▶ 最適な避難行動がシミュレーションでできれば避難誘導の指針となり得る
- モデルの検証と妥当性の確認（V&V）
 - ▶ 避難行動に多くの要素を考慮すると妥当性の確認が困難
 - ▶ ビッグデータ活用、統計的データ整備に期待

今後の展望（建築分野）

- 避難シミュレーションは現在発展途上にあり、建築設計、防火設計、防災教育などで実用化をすすめていくため、BIMとのデータ連動やVR技術に対応した体験型のシステムも開発
- 災害と避難の双方向の影響を考慮したもの、リアルタイムに最適な避難誘導を算出するシステムなども期待
- 最適化技術との組み合わせ
- より現実に近い人間の動きをモデル化するため、洗練されたアルゴリズムが開発されていく一方、観測されたビッグデータを元にAI技術を取り入れたデータ駆動型のアプローチも今後あり得る

【一般講演】

dynamic tree networkによる避難完了時間を最小化する 梅田地下街の垂直避難領域の分割手法

山本 遼

大阪市立大学
大阪, 日本

(joint work with 瀧澤 重志 (同))

Dynamic Tree Networkによる避難完了時間を最小化する梅田地下街の垂直避難領域の分割手法

Partition Problem Minimizing Evacuation Completion Time in Umeda Underground Mall by Dynamic Tree Network

JST CREST 大阪市立大学大学院 山本 遼
瀧澤 重志

Ryo YAMAMOTO^{1,2} and Atsushi TAKIZAWA^{1,2}
¹Osaka City University, Japan ²CREST, Japan Science and Technology Agency

目次 Contents

- 既往研究
Previous research
- 研究目的
Aim
- DTN上における避難完了時間推定式
Estimated formula of evacuation completion time on DTN
- 収容人数考慮型避難領域分割問題
Partition problem Minimizing Evacuation Completion Time with Capacity constraint
- 検証条件
Experimental settings
- 最適化結果
Results
- MASによる検証
Verification by MAS
- まとめ
Conclusion

既往研究 Previous research

浸水被害を想定した梅田地下街の垂直避難シミュレーション

瀧澤重志, 高木尚哉, 谷口与史也

大阪市立大学都市防災研究プロジェクト 都市防災研究論文集, 第2巻, pp.35-38, 2015

概要

Multi-Agent System(MAS)を用いて最寄りの接続ビルへ垂直避難するシミュレーションを行った。

設定

避難者数: 20761人
避難場所: 地下街接続ビル33棟

結果

避難完了時間: 約24分

課題

収容可能人数を超過する避難所が発生



Evacuation simulation by MAS in Umeda underground mall ▲

既往研究 Previous research

収容可能人数を制約とした総避難距離最小化による領域分割

山本遼, 瀧澤重志: 容量制約と避難完了時間の短縮を目的とした梅田地下街における避難領域分割手法, 日本建築学会2017年度大会(中国) 学術講演梗概集, 11013, pp.25-26, 2017

概要

収容可能人数を考慮した領域分割問題を定式化し最適化.
総避難距離の最小化を目的関数

設定

避難者数: 14872人
避難場所: 地下街接続ビル15棟

結果

避難完了時間: 約38分 (MASによる計算)

課題

避難完了時間の最小化が未考慮



Result of partition problem minimizing total evacuation distance with capacity constraint▲

研究目的 Aim

既往研究からの課題

- ・ 避難場所 (地下街接続ビル) の収容可能人数を考慮した領域分割
- ・ 避難完了時間の最小化

Dynamic Tree Network (DTN) 上における避難完了時間推定式を用いて定式化

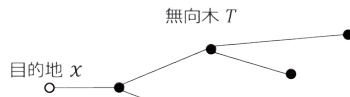
混合整数計画法を用いて避難完了時間が最小となる領域分割を求める

求められた領域分割をもとにMASを用いて避難シミュレーションを行い, 定式化の妥当性を検証

DTN上における避難完了時間推定式

Estimated formula of evacuation completion time on DTN

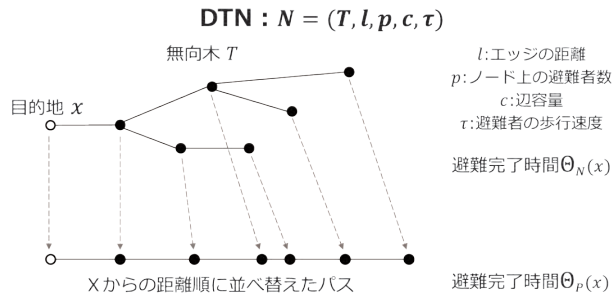
$$\text{DTN} : N = (T, l, p, c, \tau)$$



l : エッジの距離
 p : ノード上の避難者数
 c : 辺容量
 τ : 避難者の歩行速度
避難完了時間 $\Theta_N(x)$

DTN上における避難完了時間推定式

Estimated formula of evacuation completion time on DTN

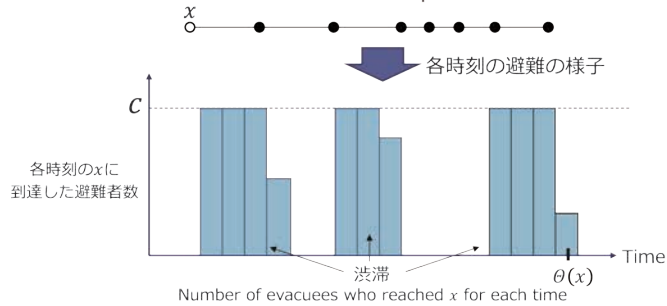


辺容量 c が一定のとき, $\theta_N(x) = \theta_P(x)$

(Kamiyama, 2006)

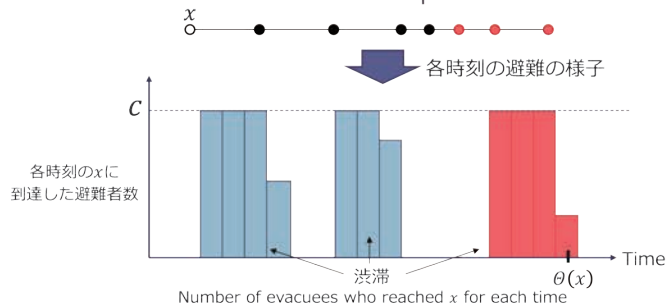
DTN上における避難完了時間推定式

Estimated formula of evacuation completion time on DTN



DTN上における避難完了時間推定式

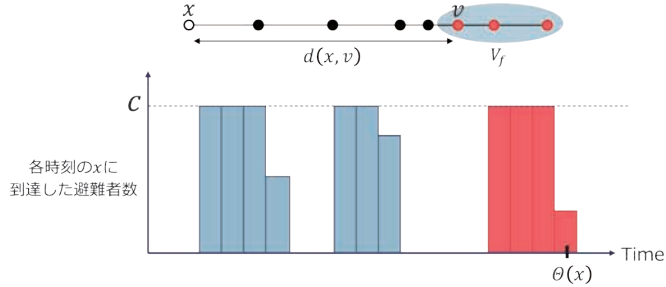
Estimated formula of evacuation completion time on DTN



避難完了時間 $\theta(x)$ を求めるには最後の渋滞のみ考えればよい

DTN上における避難完了時間推定式

Estimated formula of evacuation completion time on DTN



DTN上における避難完了時間推定式

$$\theta(x) = \max_{v \in V} \left\{ \frac{d(x, v)}{\tau} + \left\lceil \frac{\sum_{w \in V_f(x, v)} p(w)}{c} \right\rceil - 1 \right\}$$

(Higashikawa, 2014)

収容人数考慮型避難領域分割問題

Partition problem Minimizing Evacuation Completion Time with Capacity constraint

Minimize θ_{Max}

$$\text{s.t. } x(t, v) \in \{0, 1\} \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$

$$\sum_{t \in T} x(t, v) = 1 \quad \forall v \in V$$

$$r(t) \geq \sum_{v \in V} x(t, v) \cdot p(v) \quad \forall t \in T$$

$$x(t, v) \leq \sum_{g \in G(t, v)} x(t, g) \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$

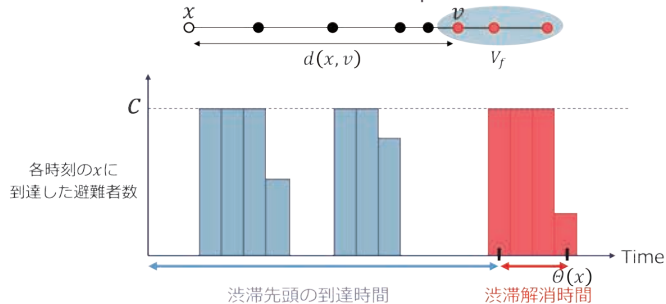
$$\theta_{Max} - \theta(t, v) \geq 0 \quad \forall v \in V_N, \forall t \in T$$

$$\theta(t, v) = \left(\frac{d(t, v)}{\tau} - 1 \right) \cdot x(t, v) + \frac{\sum_{u \in V_f(t, v)} p(u) \cdot x(t, u)}{c(t)}$$

$v \in V$: ノード, $t \in T$: 避難所ノード, $p(v)$: ノード v 上の避難者数, $c(t)$: 避難所 t の収容可能人数
 $d(t, v)$: ノード v から避難所 t までの最短距離, V_N : 避難者数が1以上のノードの集合
 $G(t, v)$: ノード v が避難所 t に割り当てられるとき, ノード v に隣接し, かつ, ノード v よりも避難所 t までの最短距離が小さいエッジの集合
 $V_f(t, v)$: ノード v よりも根 t から離れているノードの集合, τ : 避難者の歩行速度
 $c(t)$: 収容量 (単位時間あたりにエッジに入る避難者の上限)

DTN上における避難完了時間推定式

Estimated formula of evacuation completion time on DTN



DTN上における避難完了時間推定式

$$\theta(x) = \max_{v \in V} \left\{ \frac{d(x, v)}{\tau} + \left\lceil \frac{\sum_{w \in V_f(x, v)} p(w)}{c} \right\rceil - 1 \right\}$$

(Higashikawa, 2014)

収容人数考慮型避難領域分割問題

Partition problem Minimizing Evacuation Completion Time with Capacity constraint

Minimize θ_{Max}

s.t. $x(t, v) \in \{0,1\} \quad \forall v \in V, \forall t \in T$

$$\sum_{t \in T} x(t, v) = 1 \quad \forall v \in V$$

$$r(t) \geq \sum_{v \in V} x(t, v) \cdot p(v) \quad \forall t \in T$$

$$x(t, v) \leq \sum_{g \in G(t, v)} x(t, g) \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$

$$\theta_{Max} - \theta(t, v) \geq 0 \quad \forall v \in V_N, \forall t \in T$$

$$\theta(t, v) = \left(\frac{d(t, v)}{\tau} - 1 \right) \cdot x(t, v) + \frac{\sum_{u \in V_f(t, v)} p(u) \cdot x(t, u)}{c(t)}$$

DTNにおける避難完了時間推定式と
最大避難完了時間の最小化

$v \in V$: ノード, $t \in T$: 避難所ノード, $p(v)$: ノード v 上の避難者数, $c(t)$: 避難所 t の収容可能人数
 $d(t, v)$: ノード v から避難所 t までの最短距離, V_N : 避難者数が1以上のノードの集合
 $G(t, v)$: ノード v が避難所 t に割り当てられるとき, ノード v に隣接し, v かつ, ノード v よりも避難所 t までの最短距離が小さいエッジの集合
 $V_f(t, v)$: ノード v よりも根 t から離れているノードの集合, τ : 避難者の歩行速度
 $c(t)$: 収容量 (単位時間当たりにエッジに入る避難者の上限)

収容人数考慮型避難領域分割問題

Partition problem Minimizing Evacuation Completion Time with Capacity constraint

Minimize θ_{Max}

s.t. $x(t, v) \in \{0,1\} \quad \forall v \in V, \forall t \in T$

$$\sum_{t \in T} x(t, v) = 1 \quad \forall v \in V$$

$$r(t) \geq \sum_{v \in V} x(t, v) \cdot p(v) \quad \forall t \in T$$

$$x(t, v) \leq \sum_{g \in G(t, v)} x(t, g) \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$

$$\theta_{Max} - \theta(t, v) \geq 0 \quad \forall v \in V_N, \forall t \in T$$

$$\theta(t, v) = \left(\frac{d(t, v)}{\tau} - 1 \right) \cdot x(t, v) + \frac{\sum_{u \in V_f(t, v)} p(u) \cdot x(t, u)}{c(t)}$$

避難者数が避難場所の収容可能人数以下

$v \in V$: ノード, $t \in T$: 避難所ノード, $p(v)$: ノード v 上の避難者数, $c(t)$: 避難所 t の収容可能人数
 $d(t, v)$: ノード v から避難所 t までの最短距離, V_N : 避難者数が1以上のノードの集合
 $G(t, v)$: ノード v が避難所 t に割り当てられるとき, ノード v に隣接し, v かつ, ノード v よりも避難所 t までの最短距離が小さいエッジの集合
 $V_f(t, v)$: ノード v よりも根 t から離れているノードの集合, τ : 避難者の歩行速度
 $c(t)$: 収容量 (単位時間当たりにエッジに入る避難者の上限)

収容人数考慮型避難領域分割問題

Partition problem Minimizing Evacuation Completion Time with Capacity constraint

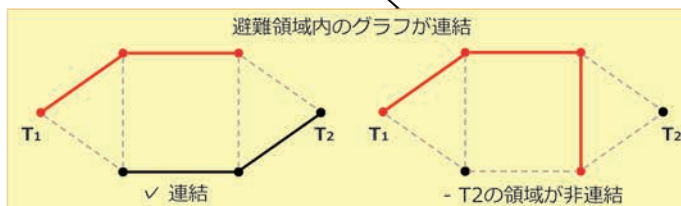
Minimize θ_{Max}

s.t. $x(t, v) \in \{0,1\} \quad \forall v \in V, \forall t \in T$

$$\sum_{t \in T} x(t, v) = 1 \quad \forall v \in V$$

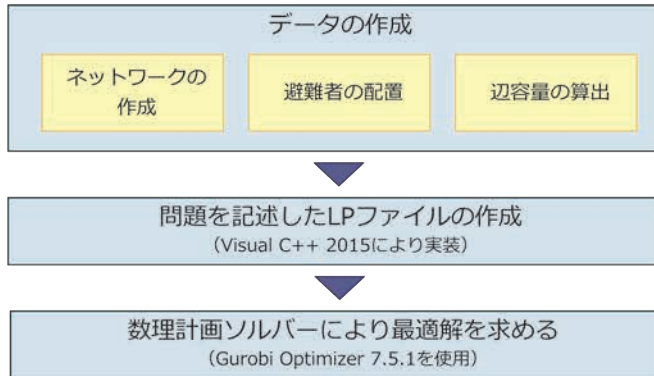
$$r(t) \geq \sum_{v \in V} x(t, v) \cdot p(v) \quad \forall t \in T$$

$$x(t, v) \leq \sum_{g \in G(t, v)} x(t, g) \quad \forall v \in V, \forall t \in T$$



$c(t)$: 収容量 (単位時間当たりにエッジに入る避難者の上限)

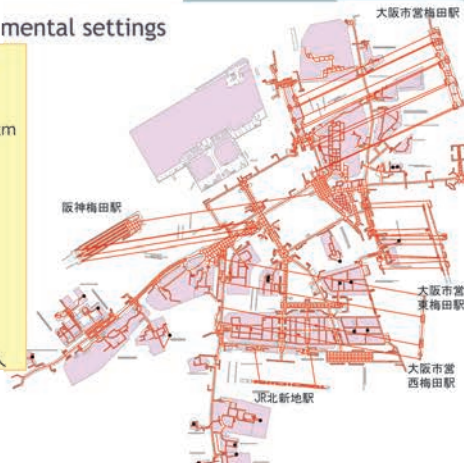
検証条件 Experimental settings



検証条件 Experimental settings

ネットワークの作成

- ・対象範囲：梅田地下街
東西 約1.1km,南北 約1.1km
5つの駅構内を含む
- ・目的地（出口）19か所
（接続ビル15か所）
- ・垂直避難を考慮
- ・ノード 3270個
- ・エッジ 4281本
- ・収容可能人数:計21031人



Network of Umeda underground mall and 5 stations

検証条件 Experimental settings

避難者の配置

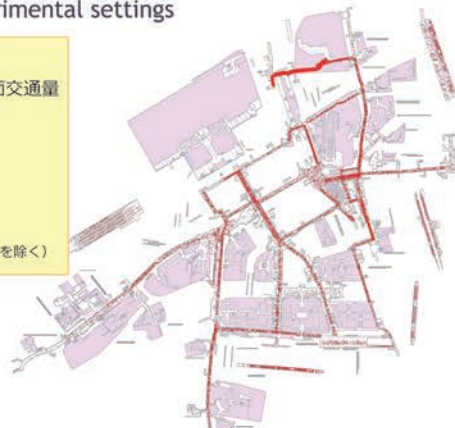
過去に行われた歩行者断面交通量調査等の結果から推定

避難者数：14782人

地下街：12701人

駅構内：2081人

(建物内部の利用者，電車の乗客を除く)



Evacuees in Umeda underground mall and 5 stations

検証条件 Experimental settings

辺容量の算出

地下街：辺容量 c (人/s) (≒通路幅) は不定
 推定式： c は一定と仮定する

↓
 避難所へ至る経路の平均的な辺容量を求める

算出方法

MASを用いて、各避難所出口において15分以上の渋滞が発生するシミュレーションを実行。各避難者の避難場所への避難時間を求め、下式で辺容量を決定。

$$c(t) = \frac{\text{避難完了600s前までの避難所への避難完了者数}}{600s}$$



Maximum and minimum of $c(t)$

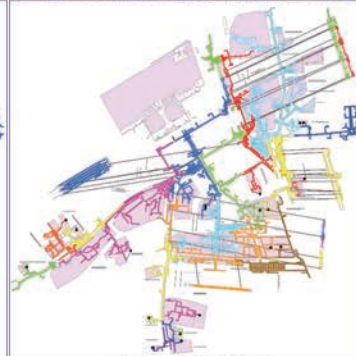
最適化結果 Results

計算環境 OS: Windows 10 64bit, CPU: Intel Core i7-4790K, Memory: 16GB



総避難距離最小化
 minimize total evacuation distance
 with capacity constraint

避難完了時間 (MAS) : 38分10秒
 計算時間 : 19.1 s
 Gap : 0%



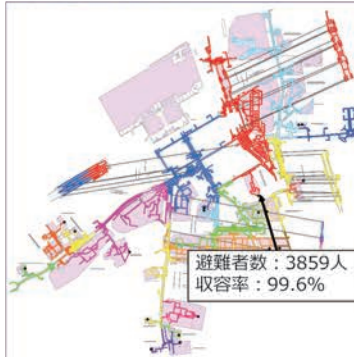
避難完了時間最小化

minimize total evacuation completion time
 with capacity constraint

避難完了時間 (目的関数値) : 27分13秒
 計算時間 : 5 days (打ち切り)
 Gap : 20%

最適化結果 Results

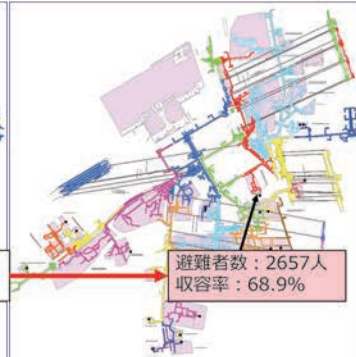
計算環境 OS: Windows 10 64bit, CPU: Intel Core i7-4790K, Memory: 16GB



避難者数 : 3859人
 収容率 : 99.6%

総避難距離最小化
 minimize total evacuation distance
 with capacity constraint

避難完了時間 (MAS) : 38分10秒
 計算時間 : 19.1 s
 Gap : 0%

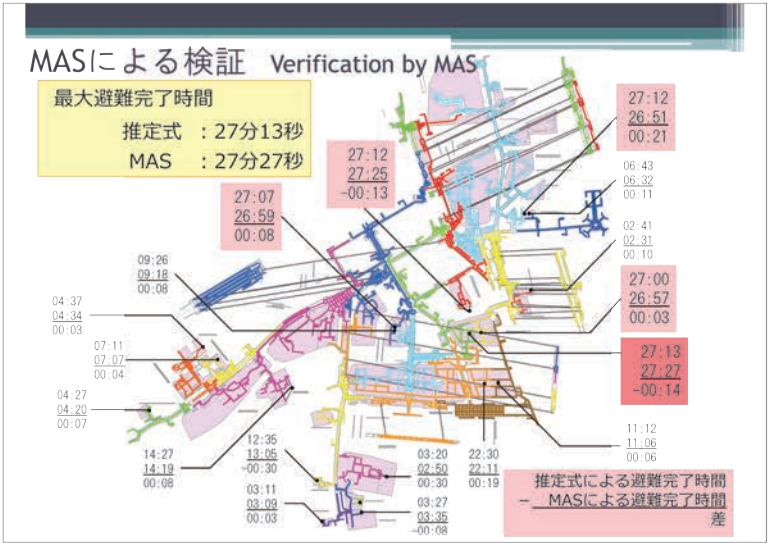
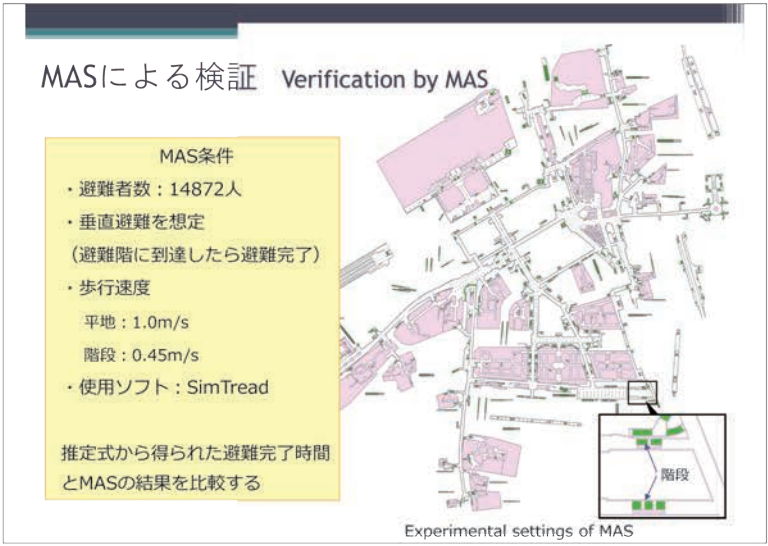
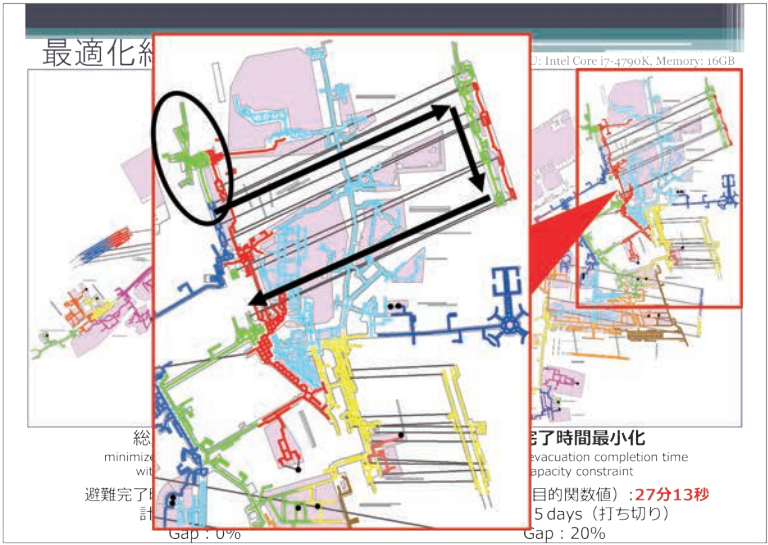


避難者数 : 2657人
 収容率 : 68.9%

避難完了時間最小化

minimize total evacuation completion time
 with capacity constraint

避難完了時間 (目的関数値) : 27分13秒
 計算時間 : 5 days (打ち切り)
 Gap : 20%



まとめ Conclusion

目的

避難所の収容可能人数を考慮し、かつ最大避難完了時間が最小となる領域分割を混合整数計画法により求める

⇒Dynamic Tree Network上における避難完了時間推定式を使用

結果

目的関数値（最大避難完了時間）は**27分13秒**

MASによる検証では27分27秒

⇒推定式とMASが結果が近く、定式化の妥当性が示せた

今後の課題

計算時間が長い

⇒計算時間の短縮

避難誘導するには複雑すぎる

⇒適切なネットワークの作成

深層学習とネットワークフローを用いた避難計画に対する アプローチ

田中 智

九州大学大学院数理学府
福岡, 日本

(joint work with 秦 希望 (同), 藤澤 克樹 (九州大学マス・フォア・インダストリ研究所))

Practical Approach to Evacuation Planning Via Network Flow and Deep Learning

Akira Tanaka*
Nozomi Hata*

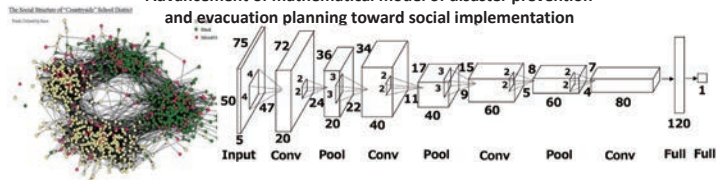
Katsuki Fujisawa †

* Graduate School of Mathematics, Kyushu University

† Institute of Mathematics for industry, Kyushu University

Decenver 1, 2017

Advancement of mathematical model of disaster prevention
and evacuation planning toward social implementation



Evacuation Map

Yodogawa Area in Osaka City

#nodes : 2,933

#edges : 8,924

#evacuees : 50,000 ~ 80,000 ← Based on midnight population

#shelters

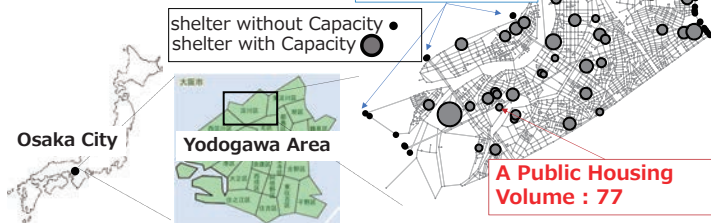
with finite capacity : 36 (total volume:35,549)

with infinite capacity : 50 (each volume:∞)

Higher Grounds

Tall and Strong Buildings

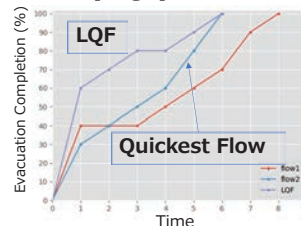
Higher Grounds
Volume: ∞



Lexicographically Quickest Flow (LQF)

Definition

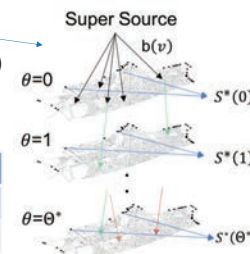
- Minimizes the evacuation time θ^*
- Greedly maximize the cumulative number of evacuees who have already completed evacuation at every time θ in the order of $\theta = 1, 2, \dots, \theta^*$



Algorithm

- Computing the maximum flow for time-expanded graphs repeatedly
- not practical in real-time use (7h for the target area)
 - Size of time-expanded graph is huge
 - Compute the maximum flow repeatedly

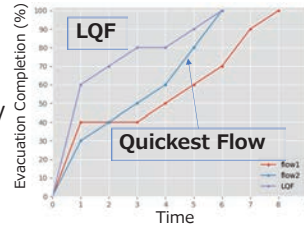
	Original	Time-Expanded($\theta = 2, 824$)
#nodes	2,933	8,300,000
#edges	8,924	32,800,000



Practical Property of LQF

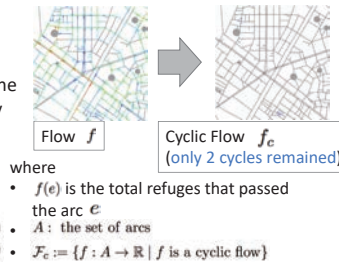
Definition

- Minimizes the evacuation time Θ^*
- Greedly maximize the cumulative number of evacuees who have already completed evacuation at every time θ in the order of $\theta = 1, 2, \dots, \Theta^*s$



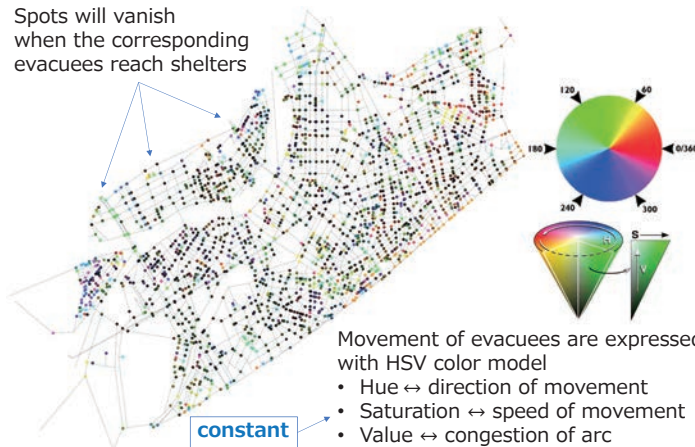
- The LQF also has a high efficiency with respect to total pedestrian flow of all evacuees to the refuges
- To check this property, we decomposed the LQF into cyclic flow and cycle-free flow by solving the QP below:

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \sum_{e \in A} (f(e) - f_c(e))^2 \\ & \text{subject to} && f_c \in \mathcal{F}_c \\ & && 0 \leq f_c(e) \leq f(e) \quad (\forall e \in A \text{ s.t. } f(e) \geq 0) \\ & && f(e) \leq f_c(e) \leq 0 \quad (\forall e \in A \text{ s.t. } f(e) \leq 0) \end{aligned}$$

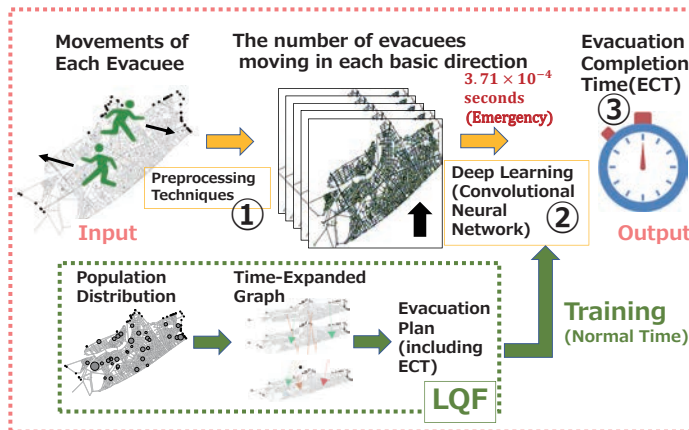


Visualization of LQF

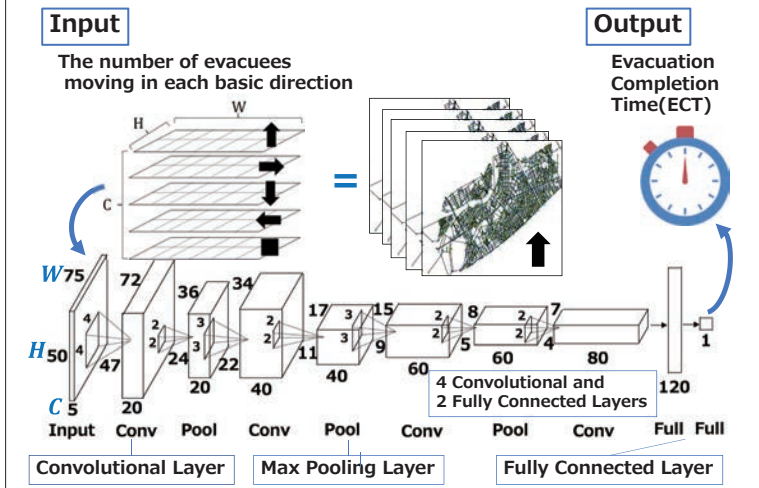
Spots will vanish when the corresponding evacuees reach shelters



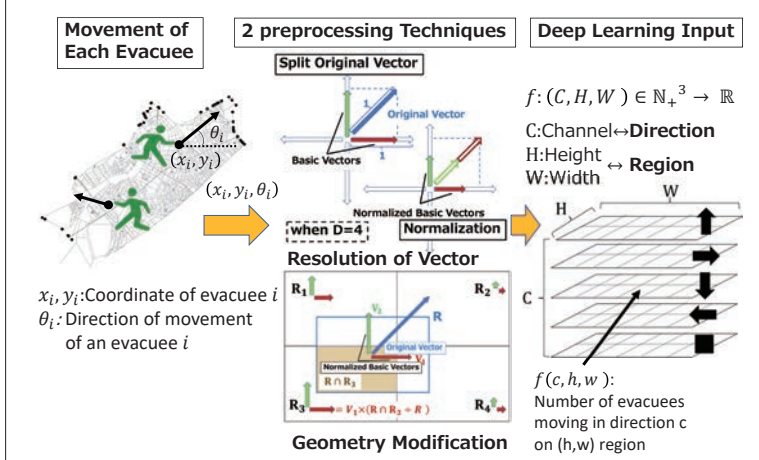
Proposed Model



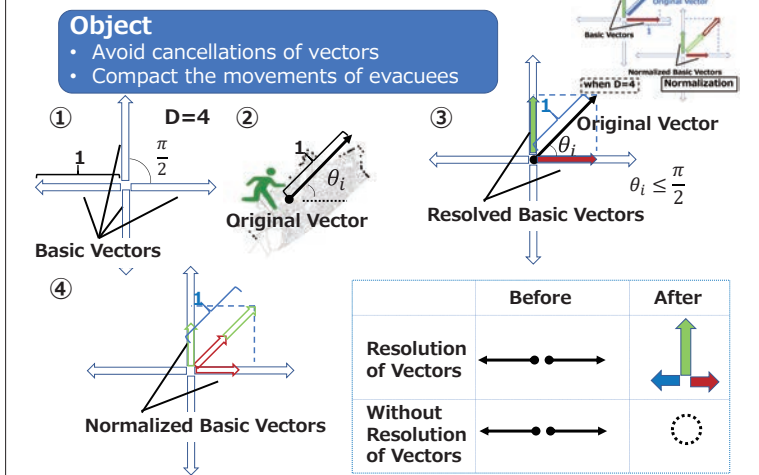
Convolutional Neural Network(CNN)



Preprocessing Techniques

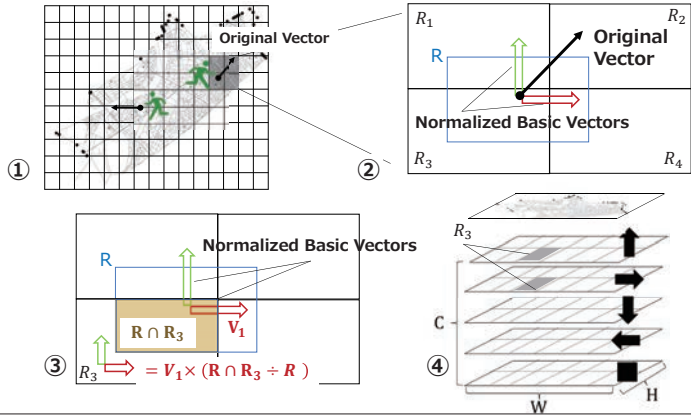


Resolution of Vector(D=4)

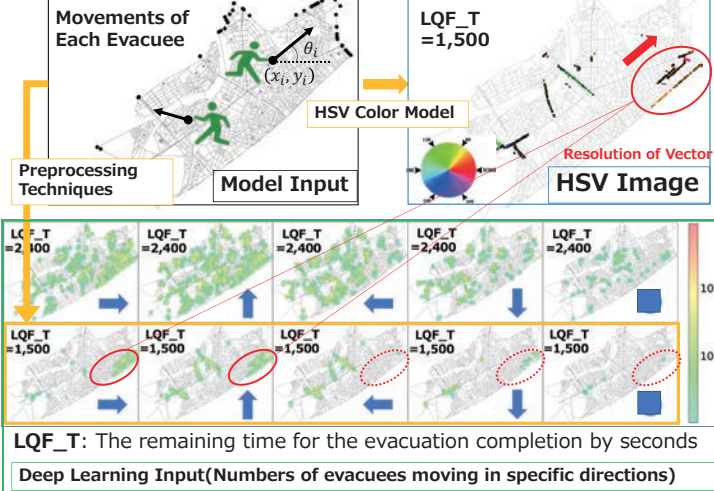


Geometry Modification

Object: Reflect the geometric information delicately



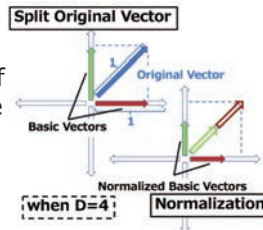
How to Make Deep Learning Input



Main Points of Preprocessing Techniques

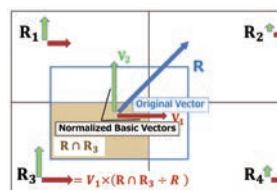
Resolution of Vector

➔ Compacting the movements of evacuees without reducing the amounts of information

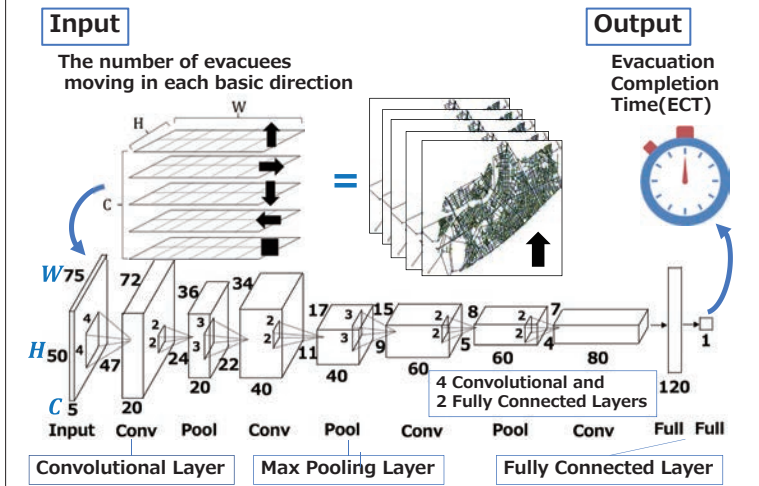


Geometry Modification

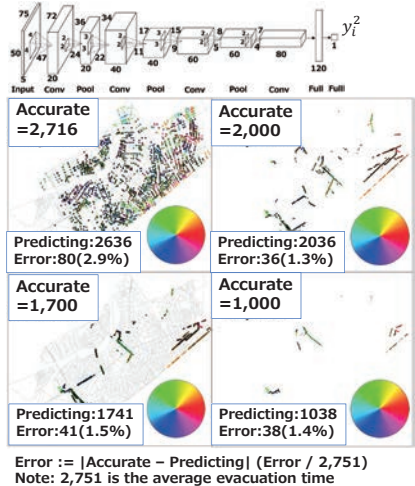
➔ Reflect the geometric information delicately



Convolutional Neural Network(CNN)



Optimizer and Output of CNN



Euclidean Loss (cost function)

$$\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N \|y_i^1 - y_i^2\|^2$$

y_i^1 : Accurate output (LQF_T)
 y_i^2 : Predicting output
 N : data size

Adam(optimizer)

- First-order gradient-based optimization
- feasible to compute in practice for high-dimensional data
- Storing exponentially decaying average of past gradient and squared gradient
- Large updates for infrequent and smaller updates for frequent
- accelerate learning

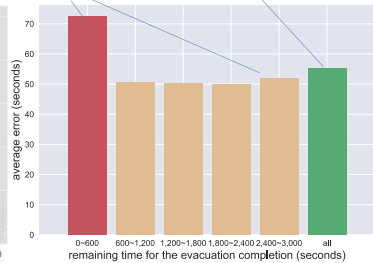
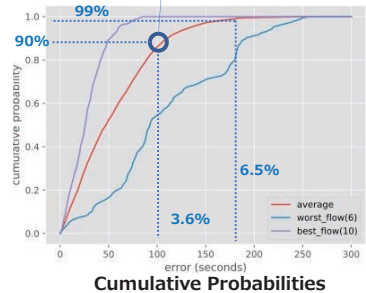
Results of Our Model

Data
Training Data: 43,200
Validation Data: 5,400

90% probability that we make prediction within 3.6% error

Prediction for the early stage is better than that for the final stage

Average error (55s 2%) is quite a small



Summary

Previous Model(LQF)

Not practical(7h)

- Compute max-flow algorithm repeatedly for time-expanded graph
- Time-expanded graph is huge



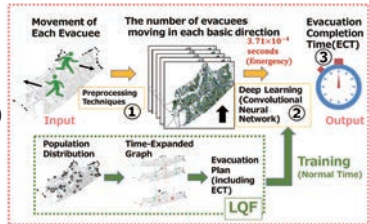
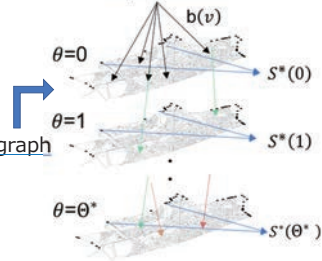
Proposed Model

Practical (less than 1s)

- Combing LQF and CNN
- Predict evacuation completion time immediately(less than 1s) and almost accurately(2%)



Super Source



大阪市における大地震時の徒歩帰宅行動シミュレーション

川岸 裕

大阪市立大学大学院工学研究科
大阪, 日本

(joint work with 瀧澤 重志 (同))

大阪市における大地震時の 徒歩帰宅行動シミュレーション

Walking home simulation
from Osaka city assuming large earthquake

大阪市立大学大学院工学研究科 Grad. Sch. of Eng., Osaka City Univ.

川岸裕 (YUTAKA KAWAGISHI), 瀧澤重志 (ATSUSHI TAKIZAWA)

目次

Table of contents

研究背景

研究目的

研究方法

シミュレーション条件

結果

まとめ

研究背景

Background of this study

大地震時における帰宅困難者問題

交通機関の停止により滞在者が徒歩で帰宅

⇒帰宅距離の長さが原因で、遠距離を徒歩帰宅あるいは帰宅を断念

⇒大量の**帰宅困難者**が都市部で発生

帰宅困難者等が徒歩で一斉に帰宅

⇒平常時では考えられないような混雑が道路上で発生

⇒大規模火災、建物の倒壊などによる二次災害の被害リスク

研究背景

Background of this study

大阪市における帰宅困難者対策

- ・大地震時には、むやみに移動を開始せず、従業員をその場にいる事業所等に待機させる
- ・中津を出発し、淀川の橋梁を渡って徒歩帰宅する訓練など

(出典)大規模災害時における帰宅困難者対策¹⁾、災害時帰宅困難者体験訓練²⁾

4

研究背景

Background of this study

大阪市における帰宅困難者問題

南海トラフ地震による津波が約1時間50分程度で淀川に到達し、梅田地区にも浸水

- ①避難・帰宅する時間に限りがある
- ②津波からの逃げ遅れ等の浸水リスクとのリンクが不十分

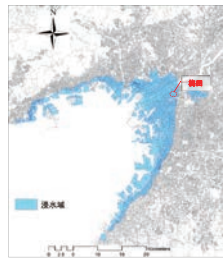


図 南海トラフに起因する津波による浸水が予想される小地域(大阪府³⁾と兵庫県⁴⁾による浸水予想図を基に作成)
Fig. Small areas where inundation due to the tsunami caused by the Nankai Trough is expected

5

研究目的

Purpose of this study

本研究では...

大阪市全域を対象に大規模な帰宅行動モデルを構築し、帰宅行動シミュレーションを実施

↓

浸水範囲内の淀川の橋梁の通行止めの有無に着目した帰宅状況の分析

↓

大阪市における帰宅困難者問題における基礎的知見を把握

6

研究方法

Research methods

シミュレーションの概要

- ・平日の昼間に地震が発生
- ・一部の帰宅困難者を含めた帰宅者が徒歩で一斉に帰宅

帰宅行動モデル

- ① 滞在者の空間分布の推定
...大阪市内の滞在者の分布を推定
- ② 滞在者の帰宅意思の決定
...滞在者が帰宅するかどうかを決定
- ③ 歩行者シミュレーション
...徒歩帰宅の様子を再現

7

研究方法～①滞在者の空間分布の推定～

Research methods～①Estimation of spatial distribution of residents～

・モバイル空間統計⁹⁾(2015年4月平日14時台)を用いて、大阪市内の平日14時台の滞在者の空間分布を推定

・注意点

- ① 15歳から79歳までが推定対象
- ② 移動中か施設に滞在中かの区別なし

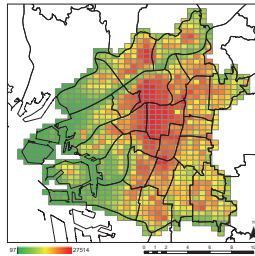


図 大阪市内の平日14時における滞在者の分布
Fig. Distribution of residents at 14 o'clock on weekdays in Osaka city

8

研究方法～①滞在者の空間分布の推定～

Research methods～①Estimation of spatial distribution of residents～

- ・居住地別の人口を推定(結果は下表)
- ・ここから自宅外出者として、市区町村レベルで人口を抽出
- ・市内滞在者の人口は**2,696,546人**

表 大阪市内の平日14時における滞在者の居住地別人口(人)
(大阪府とその近隣府県のみ)
Table. Population by residence of residents at 14 o'clock on weekdays
in Osaka city
(Osaka prefecture and its neighboring prefectures only)

大阪府	京都府	奈良県	兵庫県	計
2,579,052	54,815	81,646	241,138	2,956,651

9

研究方法～②滞在者の帰宅意思の決定～

Research methods～② Determine who intends to return home～

・大阪市とその周囲20kmバッファ内の
高速道路を除く全道路を対象とした
道路ネットワーク(右図)

⇒815,739本のエッジと621,670点のノードで
構成

・滞在者一人ごとに、OD(起終点)データを作成

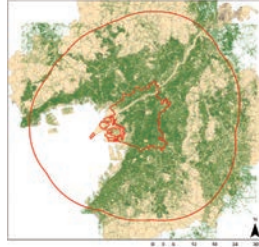


図 対象とする道路ネットワークと大字ポリゴン
(赤線は大阪府境界とその周囲20kmバッファ)
Target road network and section of village polygon
(Red line is boundary of Osaka city and its surrounding 20 km buffer)

研究方法～②滞在者の帰宅意思の決定～

Research methods～② Determine who intends to return home～

ODノードの選択

○ノード:「数値地図を用いた都市内滞留者の時空間分析推定」, 大橋 俊泰⁹⁾

$$P_{ij}(t) = \frac{y_{ij}(t)}{N_i(t)}$$

($P_{ij}(t)$:ゾーン*i*内の建物の種類/付近のノードに滞在者を分布する確率, $N_i(t)$:時刻*t*におけるゾーン*i*内の施設内滞留者の総数[人],
 $y_{ij}(t)$:同時刻同ゾーンにおける施設の種類/施設における滞留者の総数[人])

$$p_{ijk}(t) = \frac{x_{ijk}}{x_{ij}}$$

($p_{ijk}(t)$:ゾーン*i*の建物の種類/付近のノード*k*に滞在者を分布する確率, x_{ijk} :ノード*k*の最も近隣の建物における延床面積合計)

文献より, 東京都の平日14時台の住居, 事業所, 学校の主要3用途の建物の人口に関するパラ
メータを使用

Dノード:居住地の字ポリゴン内のノードからランダムに選択

11

研究方法～②滞在者の帰宅意思の決定～

Research methods～② Determine who intends to return home～

・ODデータから, 滞在者の帰宅経路(最短)と距離を求める

・滞在者が自宅に帰宅する確率 P_e を求める(式は, 中央防災会議の帰宅困難者数推定の
考え方⁷⁾より作成)

$$P_e = \begin{cases} 1, & \text{if } d_e < 10\text{km}, \\ (20 - d_e)/10, & \text{if } 10 \leq d_e < 20\text{km}, \\ 0, & \text{if } d_e \geq 20\text{km}. \end{cases} \quad P_e: \text{帰宅可能率}, d_e: \text{帰宅距離}$$

・Dノード(終点すなわち自宅近辺のノード)が浸水範囲内にある滞在者は,
帰宅距離にかかわらず帰宅を断念(帰宅可能率0%)

12

研究方法～②滞在者の帰宅意思の決定～

Research methods～② Determine who intends to return home～

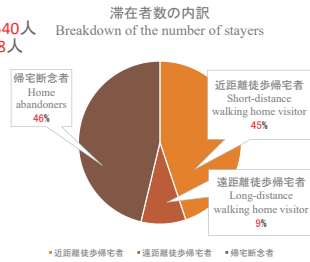
滞在者...2,696,546人

近距離徒歩帰宅者(10km以内)...1,209,540人

遠距離徒歩帰宅者(10～20km)...239,748人

近・遠距離徒歩帰宅者を合わせた帰宅者
(帰宅者合計)...1,449,288人

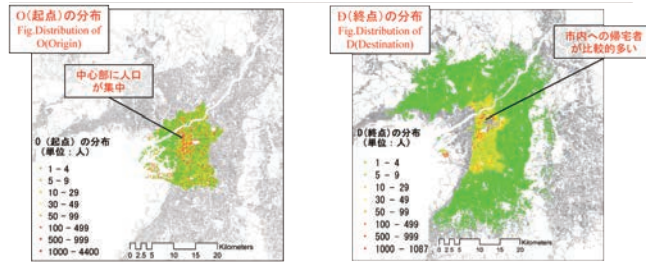
・帰宅者数は滞在者数の約54%



13

研究方法～②滞在者の帰宅意思の決定～

Research methods～② Determine who intends to return home～



14

研究方法～③歩行者シミュレーション～

Research methods～③ Pedestrian simulation～

「一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発」, 副田ら(2010)³⁾

・Social Force Modelを1次元化し, ネットワーク空間に適用できるようにしたモデル

・歩行者空間を長さと幅を持ったエッジとノードで表現

⇒本研究では, 道路をエッジ, 交差点をノードで表現

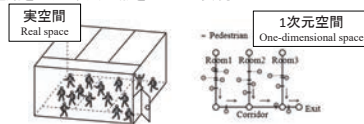


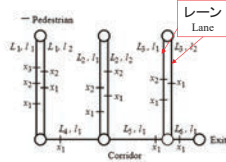
図 歩行者モデル(文献³⁾より引用)
Pedestrian model quoted from reference³⁾

15

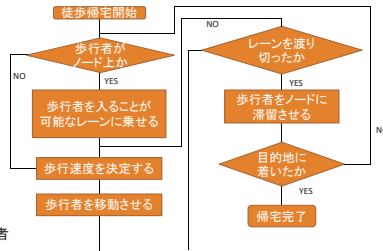
研究方法～③歩行者シミュレーション～

Research methods～③ Pedestrian simulation～

- ・人々が歩行の際に形成する列を仮想レーンで表現する
- ⇒歩行者はレーン上を歩く



L_m : エッジ, l_i : レーン
 x_i : 同一レーン上の先頭から i 番目の歩行者



16

研究方法～③歩行者シミュレーション～

Research methods～③ Pedestrian simulation～

レーンに関する設定

- ・レーンを形成できる数は道路の幅によって決まる
- ・本研究では、歩行者は歩道を移動するものとし、歩道幅によってレーン数を決定
- ・道路種別毎に歩道幅をサンプリング
- ⇒歩道幅を計測し、得られた平均値を道路種別歩道幅とする
- ⇒レーン幅を75[cm]とし、レーン数を決定

表 道路種別ごとの歩道幅とレーン数
 Table. Pedestrian width and number of lanes by road type

道路の種類	歩道幅(m)	レーン数
一般国道	4.5	6
一般都道府県道等	4.8	6
主要地方道(指定市道)	6.4	8
主要地方道(都道府県道)	3.5	4
指定市の一般市道	5.1	6
その他の道路	1.5	2

17

研究方法～③歩行者シミュレーション～

Research methods～③ Pedestrian simulation～

モデルにおける歩行者にかかる力

- ・歩行者に2つの仮想的な力が作用
- ①歩行者推進力...周囲から影響を受けない場合の歩行速度(自由歩行速度)に戻ろうとする力
- ②社会的作用...周囲の歩行者との間にパーソナルスペースを取ろうとする力

歩行者モデルの速度式

- ・同レーン上の直前の歩行者との距離をもとに歩行速度を計算

$$\dot{x}_i(t + \Delta t) = \dot{x}_i(t) + \left\{ a_1 (v_0 - \dot{x}_i(t)) - a_2 \exp\left(\frac{r - \Delta x}{a_3}\right) \right\} \Delta t$$

t : 時刻(s), $\dot{x}_i(t)$: i における各レーン上の先頭から i 番目の歩行者の歩行速度(m/s), Δt : 直前の歩行者との距離(m), Δx : シミュレーションステップ(s), $a_1(t)$: 歩行者 i が存在するレーン上の時刻 t における地点/ノードからの距離, r : 歩行者半徑(m), v_0 : 自由歩行速度(m/s), a_1, a_2, a_3 : 歩行実験等の結果からキャリブレーションすることによって求められるパラメータ

18

シミュレーション条件

Simulation conditions

シミュレーションケース

① 淀川に架かる橋梁の通行止めの有無

② 混雑現象を再現するかどうか

⇒再現しない場合、帰宅者全員が最短経路を自由歩行速度(=1.023(m/s))で歩行するケース(ケース1a,2a)

これらの組み合わせとして、四つのケースに対してシミュレーションを行う

表 シミュレーションケース

ケース	淀川に架かる橋梁の通行止めの有無	混雑現象の有無
ケース1a	無	無
ケース1b	無	有
ケース2a	有	無
ケース2b	有	有

19

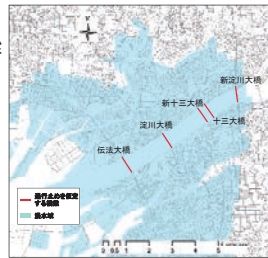
シミュレーション条件

Simulation conditions

通行止めに関する条件

・予想浸水範囲内の淀川に架かる5本の橋梁(伝法大橋、淀川大橋、新十三大橋、十三大橋、新淀川大橋)の通行止めを想定

・橋梁の通行止めは、シミュレーションの期間中、継続するものとする



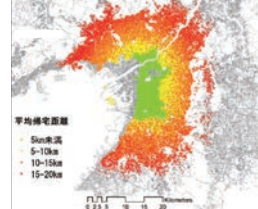
20

結果～帰宅者の帰宅距離～

Result ~ Returning home distance of returning home ~

ケース1a,1b

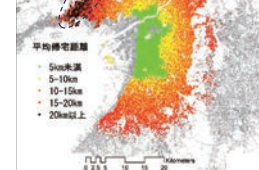
(Case 1a,1b)



ケース2a,2b

(Case 2a,2b)

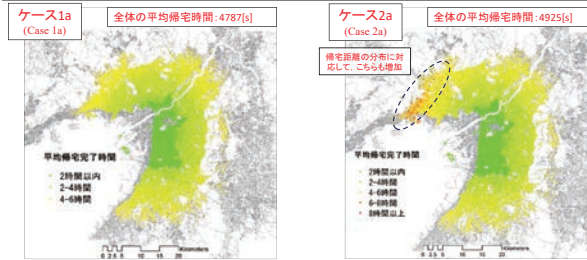
声屋・西宮地域の帰宅者の帰宅距離が増加。



21

結果～帰宅者の帰宅時間(混雑現象なし)～

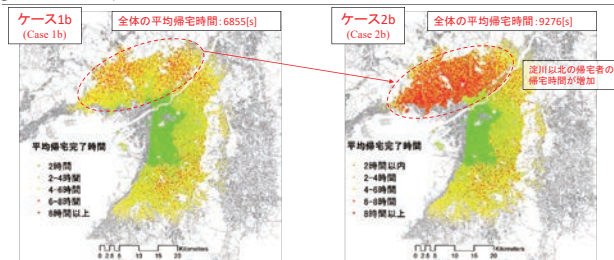
Result ~ Returning home time (no congestion phenomenon) ~



22

結果～帰宅者の帰宅時間(混雑現象あり)～

Result ~ Returning home time of the returning home (with congestion phenomenon) ~



23

結果～道路上での混雑状況～

Result ~ Crowdedness on the road ~

混雑状況の把握...二次災害の危険性などの把握に必要

混雑の可視化条件

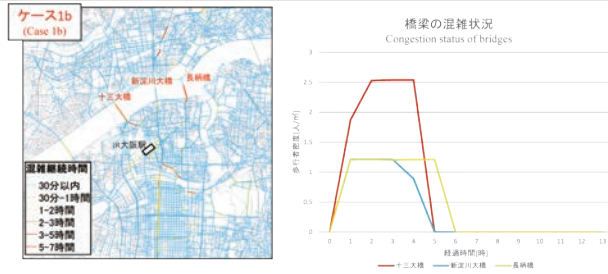
- ・混雑を表す指標...歩行者密度(人/m²)
- ・歩行者密度0.7(人/m²)以上で混雑が発生していると定義
- ⇒エッジ上の大部分の歩行者が、歩行に関して混雑による制約を受ける値

J. J. Fruin の歩行路サービス水準[®]より

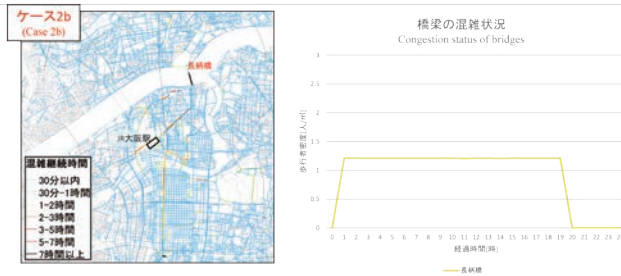
- ・浸水が懸念される梅田付近の淀川の橋梁に着目
- ・それぞれのケースに関して混雑が継続する時間を可視化

24

結果～道路上での混雑状況～ Result ~Crowdedness on the road~



結果～道路上での混雑状況～ Result ~Crowdedness on the road~



まとめ

Summary

- ・本研究では、大阪市を対象に大規模な徒歩帰宅シミュレーションを実施
⇒大阪市内でこれまで十分行われてこなかった大地震時における帰宅者の帰宅行動に関する基礎的知見を把握
- ・淀川以北へ帰宅する帰宅者に大きな影響
- ・橋梁上での歩行者の滞留⇒浸水からの逃げ遅れの問題
⇒滞在者(特に淀川の橋を渡って帰宅する必要のある滞在者)をすぐには帰宅させずに、近辺の避難場所等に避難させることを検討するなどが必要

まとめ

Summary

主な課題点

交差点の再現、混雑回避行動などを考慮していない点、避難行動を考慮していない点など

⇒ これらを克服し、実効性のある帰宅・避難行動計画の策定ツールとして精度を高める

28

参考文献

References

- 1) 大阪市、大規模災害時における帰宅困難者対策、<http://www.city.osaka.lg.jp/kikikanrishitsu/page/0000073235.html>, 2016.10.28(2017.8.8確認)
- 2) 平成29年度災害時帰宅困難者体験訓練 新御堂筋線～大阪中央環状線、<http://osaka-fu.net/kitakunren/>, (2017.10.30確認)
- 3) 大阪府、大阪府津波浸水想定の設定について、<http://www.pref.osaka.lg.jp/kikikanri/tsunamishinsuisoutei/>, 2013.8.30(2017.8.8確認)
- 4) 兵庫県：CG/ハザードマップ、南海トラフ巨大地震津波浸水想定図、<http://www.hazardmap.pref.hyogo.jp/>, (2017.8.8確認)
- 5) NTTドコモ、モバイル空間統計に関する情報、https://www.nttdocomo.co.jp/corporate/disclosure/mobile_spatial_statistics/ (2017.9.17確認)
- 6) 大橋俊泰：数値地図を用いた都市内滞留者の時空間分析推定、日本建築学会計画系論文集、第73巻、第634号、pp.2673-2678、2008.12.
- 7) 中央防災会議：首都直下地震避難対策等専門調査会報告書、<http://www.bousai.go.jp/ksigrep/Chuobouj/Sermony/Shutohnan/>, 2008.10.27(2017.8.8確認)
- 8) 副田俊介ほか：一次元歩行者モデルを用いた高速避難シミュレータの開発、情報処理学会、pp.1-6、2010.
- 9) J. J. Fruin 著、長嶋正充訳：歩行者の空間・理論とデザイン、鹿島出版会、1974.

29

内閣府 SIP「共助アプリ」の開発と社会実装の取り組み

末松 孝司

株式会社ベクトル総研
東京, 日本

平成29年度 九州大学 IMI 共同利用・研究集会

「防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて」

内閣府SIP「巡回支援アプリ」の開発と社会実装の取り組み

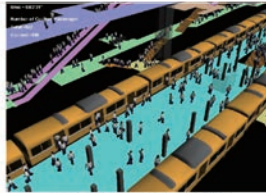
平成29年12月1日

(株)ベクトル総研

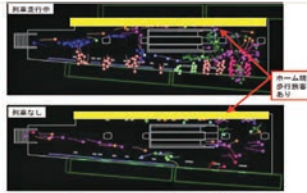
末松孝司



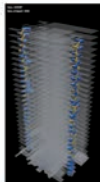
地域や施設の人、モノ、情報の流れをシミュレーションして、配置や規模、管理の効率性、安全性を提案



旅客シミュレーション (3次元)



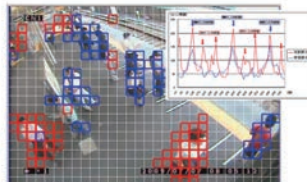
駅ホーム旅客シミュレーション



高層ビル避難



津波避難 (広域)



画像解析システム (行動パターン解析)



2

SIP全体構成

戦略的イノベーション創造プログラム(SIP) Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

- 府省・分野の枠を超えた横断型プログラム
- 総合科学技術会議が課題を特定、予算を重点配分
- 課題ごとにPD(プログラムディレクター)を選定、基礎研究から出口(実用化・事業化)までを見据え、規制・制度改革や特区制度の活用等も視野に入れて推進。進捗状況等に応じてガバナリングボードが助言・評価
- 日本経済の再生を実現(経済成長、市場・雇用の創出等)
- 内閣府に「科学技術イノベーション創造推進費」を計上(各省庁の協力を得て500億円を計上)
- これまでの総合科学技術会議、産業競争力会議での有識者の提言等から、府省横断型の重要な10の対象課題候補を選定(平成25年9月13日総合科学技術会議)

エネルギー

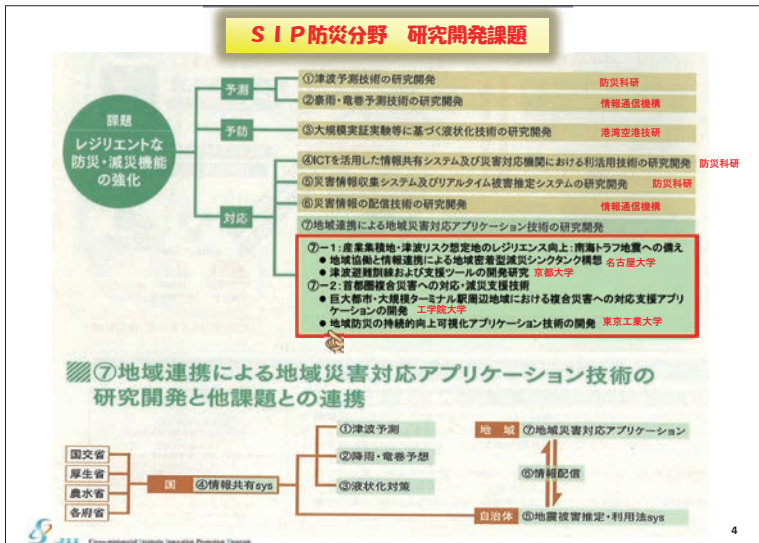
- 革新的燃焼技術
- 次世代パワーエレクトロニクス
- 革新的構造材料
- エネルギーキャリア(水素社会等)
- 次世代海洋資源調査技術

次世代インフラ

- 自動走行(自動運転)システム
- インフラ維持管理・更新・マネジメント技術
- レジリエントな防災・減災機能の強化
- 地域資源
- 次世代農林水産業創造技術
- 革新的設計生産技術



3



戦略的イノベーション創造プログラム

Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program

[レジリエントな防災・減災機能の強化]

「首都圏複合災害への対応・減災支援技術」

地域防災の持続的向上可視化
アプリケーションの技術開発

研究責任者 大佛俊泰



2. これまでの成果



3. 技術開発の成果と今後の展開

実用化技術のAI化に関するフィールド実験

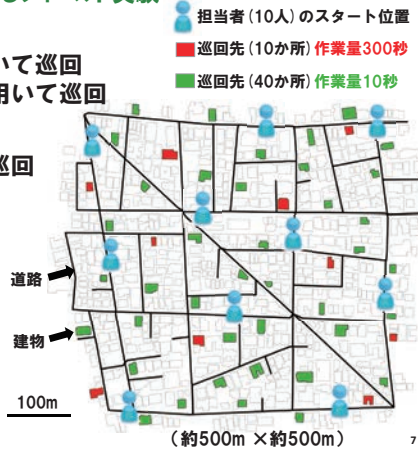
フィールド実験

- ① 巡回支援アプリを用いて巡回
- ② 既存アプリ (LINE) を用いて巡回

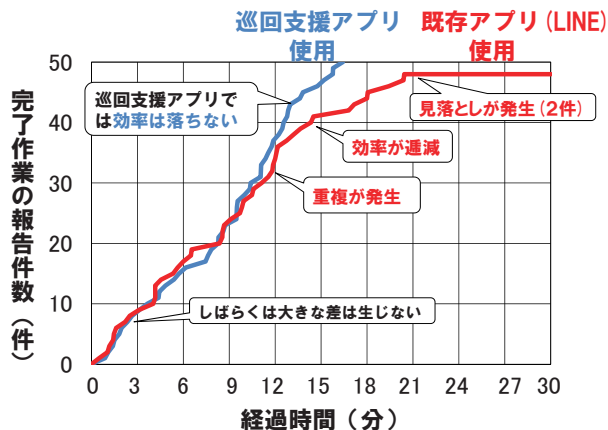
シミュレーション実験

- ③ エージェントの仮想巡回

作業完了時間の比較
 (移動時間・作業時間)



● 巡回支援アプリを用いることの効果



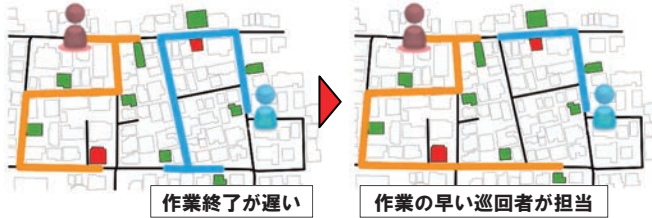
● 行動履歴の振り返り機能

個人作業ログデータから得られる情報

- ・歩行速度が遅い/作業時間が長い等

行動履歴を利用したAI機能

- ①個人行動の改善（防災訓練マニュアルの見直し）
→作業効率化の目安・目標を提示
- ②マッチングの改善（担当者の能力[移動速度・作業時間]を反映）
→継続使用により個人能力を自動学習し、作業効率を最適化

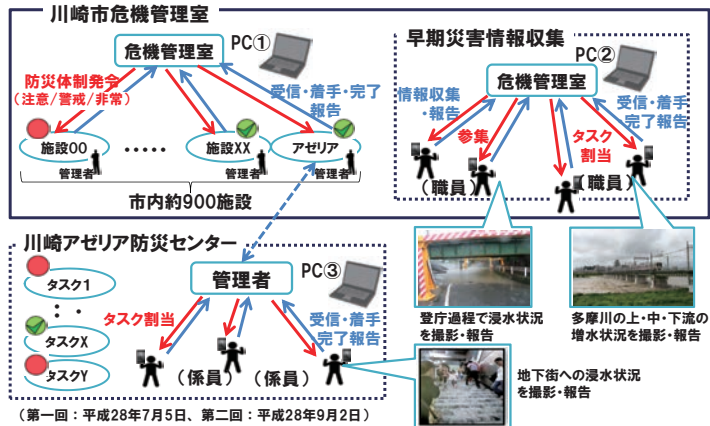


SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

10

4. 社会実装の成果と今後の展開

川崎市危機管理室とアゼリア地下街におけるプレ実証実験



SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

11

● 川崎市危機管理室とアゼリア地下街におけるプレ実証実験の様子

巡回支援アプリの有効性・汎用性を確認

川崎アゼリア地下街の対応状況

多摩川巡視のモニタリング

市全域の対応状況確認

川崎市危機管理室

下流域の状況確認

川崎アゼリア: JR/京急/バスターミナル接続
規模全国3位(延床面積5.7万㎡、店舗数350店)
通行人数29万人/日

予算化、議会審議、多くのステークホルダー
→ 実装までには長い時間を要する

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム

12

● 現実的な社会実装に向けた課題と戦略

● 現在までの進捗

⇒ プレ実証実験の実施

(世田谷区危機管理室/社会福祉協議会/タクシー事業者/
川崎市危機管理室/川崎アセリア/大丸有地区大型施設)

⇒ 災害時の地域・施設での巡回支援アプリの有効性・汎用性を確認

⇒ 自治体や企業のニーズ把握

● 社会実装への課題

⇒ 防災コンテンツ単独では導入されない

⇒ 自治体やステークホルダーの多い機関は導入に時間がかかる

⇒ 継続活用と機能更新には事業化(ビジネスモデル)が不可欠

● 課題解決に向けた戦略の基準

⇒ 職員や館内者の安全性を重視する機関

⇒ 日常業務と兼用でき、効率化が期待できる

⇒ 地域連携の必要な地区

● 現実的な社会実装に向けた課題と戦略

● 緊急時と日常業務への兼用機能の開発、導入実験の実施

(災害時の対応と日常業務の効率改善が急務の施設を選定)

(導入実験：高層ビル内ホテル/平成29年9月実施)

(自衛消防団の防災訓練ツールとしてデモ実験/30年度実施予定)

高層ビル内ホテル (実験対象施設)



接続



ターミナル駅

接続



地下街

5. 今後の展望

① 日常的に実施される安全管理業務の適用 (エレベーター保守、警備、消防、設備、駅管理等)

② 災害弱者の対策が遅れている施設、エリアへの適用 (福祉/養護、病院、避難所等)

③ 労働集約型業務、位置測位ビジネスへの適用 (緊急物資対応の運送業、集客施設等)



日常時と緊急時の兼用性と 多様なシーンでの汎用性

ボトムアップ型の社会実装戦略 (施設管理者レベルから地域レベルの連携へ)



ヒト・モノのモビリティに関する新しい数理モデルとその 応用

藤澤 克樹

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
福岡, 日本

ヒト・モノのモビリティに関する 新しい数理モデルとその応用

藤澤 克樹

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 (IMI)
産業技術総合研究所 人工知能研究センター (AIRC)
産総研・東工大 実社会ビッグデータ活用 オープンイノベーションラボラトリ
東京工業大学 学術国際情報センター
統計数理研究所 統計的機械学習研究センター
Yahoo! Japan

2017年12月1日

防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて

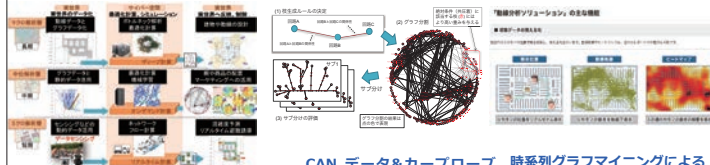


CPS(Cyber Physical System)とビッグデータ活用による都市 OS の開発



CPSとビッグデータ活用による企業との共同研究の推進

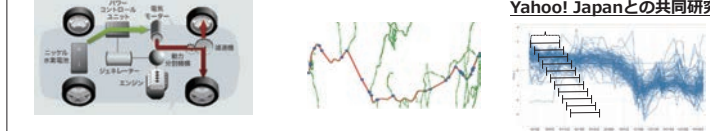
次世代AI：ヒト・モノの移動に関する数理・物理モデルによる現象の表現・再現・予測
バーチャルファクトリー(サイバー空間での仮想工場) 構想
実生産前における生産方法やスケジュール決定と工数見積
パナソニック & 住友電工との共同研究



HV & PHV パワーユニット & パワートレインション開発
汎用シミュレータと最適化システムの構築
トヨタとの共同研究

CAN データ&カーフローデータを用いたアプリケー
交通計画 & 危険度予測
住友電工 & 沖電気工業との共同研究


時系列グラフマイニングによる
ファイナンスデータの解析
&
Yahoo! Japan ポータルサイト
レイアウトや広告の効果推定
ヒト・モノ・カネ・情報の
モビリティ
Yahoo! Japanとの共同研究



Graph500技術の応用 Twitter ネットワークの解析

• フォロー・ネットワーク

- ユーザ数 (点数) 41,652,230
- フォロー関係 (枝数) 2,405,026,092



2009年に取得した
フォロワー数が1以上のユーザ

• Graph500 ベンチマーク

- 幅優先探索の性能「1秒間に通過した枝数 TEPS」を用いて、コンピュータの性能を比較する

ユーザ 21,804,357 からの幅優先探索の結果

ホップ数	ユーザ数	割合 (%)	累積割合 (%)
0	1	0.00	0.00
1	7	0.00	0.00
2	6,188	0.01	0.01
3	510,515	1.23	1.24
4	29,526,508	70.89	72.13
5	11,314,238	27.16	99.29
6	282,456	0.68	99.97
7	11536	0.03	100.00
8	673	0.00	100.00
9	68	0.00	100.00
10	19	0.00	100.00
11	10	0.00	100.00
12	5	0.00	100.00
13	2	0.00	100.00
14	2	0.00	100.00
15	2	0.00	100.00
合計	41,652,230	100.00	-

0.069 秒で探索可能
→ 21.28 GTEPS (10⁹ TEPS)

スパコン「京」がグラフ解析性能を競うGraph500で6連覇(世界1位) 2017年11月15日(日本時間16日)

九大・東工大・理研・富士通など、スーパーコンピュータ「京」がGraph500において6期連続で世界第1位を獲得

2017/11/16 14:40

発表日: 2017年11月16日

6期連続でスーパーコンピュータ「京」がGraph500で世界第1位を獲得

ビッグデータの処理で重要となるグラフ解析で最高レベルの評価




■要旨

理化学研究所(理研)と九州大学、東京工業大学、スペインのバルセロナ・スーパーコンピューティング・センター、富士通株式会社、株式会社フィクスターズによる国際共同研究グループは、ビッグデータ処理(大規模グラフ解析)に関するスーパーコンピュータの国際的な性能ランキングであるGraph500(※)において、スーパーコンピュータ「京(けい)」[1]による解析結果で、2017年6月に続き6期連続(通算7期)で第1位を獲得しました。

大規模グラフ解析の性能は、大規模かつ複雑なデータ処理が求められるビッグデータの解析において重要となるもので、「京」は運用開始から5年以上が経過していますが、今回のランキング結果によって、現在でもビッグデータ解析に関して世界トップクラスの極めて高い能力を有することが実証されました。

The current status of AI & Big Data in Japan

We need the triage of **algorithms/data/infrastructure** but we lack the **infrastructure** dedicated to AI & Big Data (c.f. Google)

深層学習処理の高度化・高速化を模索

Machine Learning Algorithms

Preferred Networks
"Chainer" OSS DL Framework
Many applications in manufacturing web, pharma, etc.

ITLAB
Analysis of automotive cameras
Performance analysis & improvement of DL
車載カメラ映像解析
深層学習高性能化高速化に関する基礎研究

Investigating the Application of

DeNA, MUHIKO, HITACHI
qub, Panasonic, 互蔵

Use of Massive Scale Data now Wasted

Petabytes of Drive Recording Video
DENSO, TOYOTA, GARA, FA&Robots


Web access and merchandise Data
IoT Communication, location & other data


Insufficient to Counter the Giants (Google, Microsoft, Baidu, etc.) in their own game

Massive "Big" Data in Training
大規模計算需要(産業界)

AI Bridging Cloud Infrastructure (ABCI)



- ABCI: AI Bridging Cloud Infrastructure
 - **worlds first large-scale OPEN AI Infrastructure** → Operational Spring 2018
 - Top-Level SC compute & data capability (550 AI-Petaflops : FP16)
 - **Open Public & Dedicated** infrastructure for AI & Big Data Algorithms, Software and Applications
 - Platform to accelerate joint academic-industry R&D for AI in Japan




AIST 

METI AIST-AIRC ABCI as the *worlds first large-scale OPEN AI Infrastructure*

- **ABCI: AI Bridging Cloud Infrastructure**
 - Top-Level SC compute & data capability (**550 AI-Petaflops** : **FP16 : 4352 NVIDIA Tesla V100 : 37PFlops DP**)
 - Open Public & Dedicated infrastructure for AI & Big Data Algorithms, Software and Applications
 - Platform to accelerate joint academic-industry R&D for AI in Japan

- 550 AI-Petaflops
- < 3MW Power
- < 1.1 Avg. PUE
- Operational Spring 2018



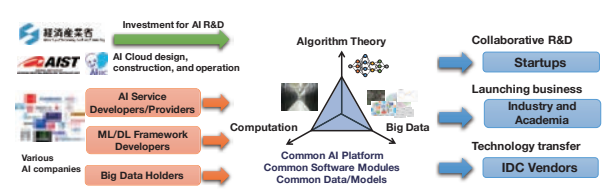
東京大学 **Univ. Tokyo Kashiwa Campus**

www.aist.go.jp ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY AIST

The next strategy of AI & Big Data in Japan

- **CPS(Cyber Physical System) and Creating New Industrial Applications**
- **Bridging Infrastructure**

- **Common public platform**
 - For AI apps, services, and infrastructure designs
 - Aiming fast tech transfer through industry and academia collaboration
- **Open hardware and software architecture**
 - w/ AI acceleration support based on commodity devices
- **Multi-PB-class sharable Big Data storage**
 - For AI R&D collaboration

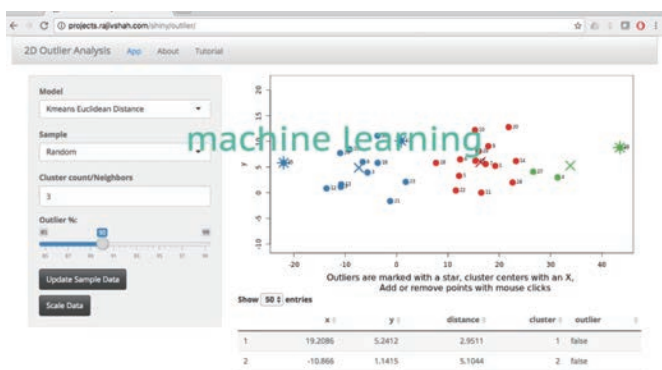


The diagram illustrates a cycle: Investment for AI R&D (from the Ministry of Economy, Trade and Industry) leads to AI Cloud design, construction, and operation (by AIST). This supports AI Service Developers/Providers and ML/DL Framework Developers (from various AI companies), who provide services to Big Data Holders. These groups feed into a central 'Common AI Platform' (with Common Software Modules and Common Data/Models) which enables 'Computation' and 'Big Data' analysis. This leads to 'Algorithm Theory' and 'Collaborative R&D', which in turn leads to 'Startups', 'Launching business Industry and Academia', and 'Technology transfer' to 'IDC Vendors'.

AI + グラフ解析 + 数理最適化による新しい産業応用

1 : ヒト・モノの移動の最適化

動画からヒト・モノの認識が可能 → この後に何ができるか？



The screenshot shows a '2D Outlier Analysis' application window. On the left, there are controls for the model (Kmeans Euclidean Distance), sample selection (Random), cluster count (3), and outlier percentage (10%). A scatter plot on the right shows data points with outliers marked by stars and cluster centers marked by X's. Below the plot, a table shows the results for two entries:

Show	x	y	distance	cluster	outlier
1	19.2086	5.2412	2.9511	1	false
2	-10.866	1.1415	5.1044	2	false

YOLO Demonstration on Woman Walking in NYC
<https://www.youtube.com/watch?v=Qwui-fXCUYA&t=2s>

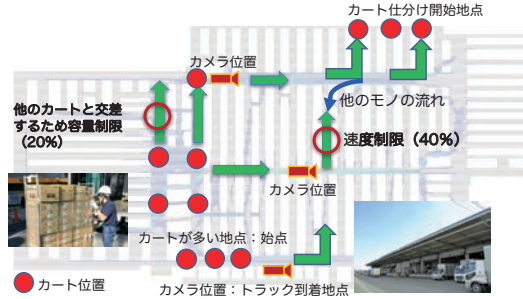
時系列グラフ上での動線解析①

目標：全体のスループット向上のためのロールボックス配置や移動方法の改善提案

時間拡大ネットワーク上に動線データをマッピング

→混雑場所に対し時系列グラフ上で時間を遡ること原因を特定

ある時間内（例えば5分）のODペアの最速移動計算
 ⇒実際の移動との比較
 ⇒移動パターンや一時停止や出発遅延のルール発見を目指す
 （機械学習等の活用）

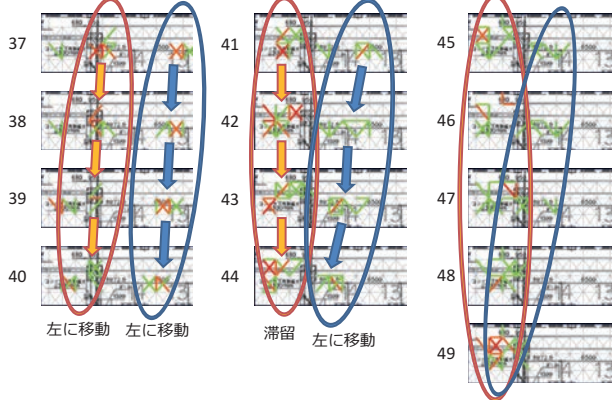


時系列グラフ上での動線解析②

時間拡大ネットワーク上に動線データをマッピング

→混雑場所に対し時系列グラフ上で時間を遡ること原因（どこから来たのか）特定

グラフ上で過去に遡って原因を探る(動画を次のページに記載) 各画像の左側の数字は秒数

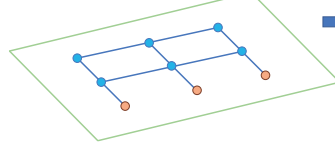


時系列グラフ上での動線解析③

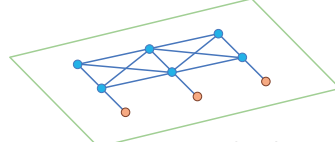
ネットワークの構成法

静的ネットワーク

- ：通路上に置いた点
- ：トラック前、ベルトコンベア前などロールボックスが入り出す点

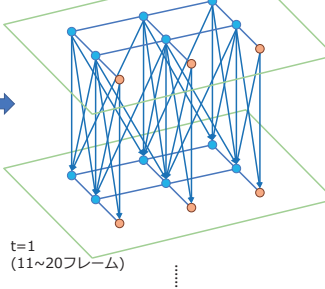


実際には斜めにも枝が張られているが右図の煩雑さの観点から省略



時間拡大ネットワークの構成

t=0
(1~10フレーム)



- 通路でのフロー整合条件
- カメラ動線をマッピングした際の各枝での人数が0でなければそのまま保持
- 同時に1つの枝を通行する人数 ≤ 5

総移動量が最小となるように線形計画問題で定式化・補完

データ補正のための線形計画問題定式化

→ : データ上にある動線
● : 出入り口
● : フロー整合条件の対象

$G = (V, A)$: 基大綱グラフ ただし $A \subset V \times V$
 $D = (V_T, A_T)$: 時間 $1, \dots, T$ に対して G を時間拡大したネットワーク
 ただし $V_T = V \times \{1, \dots, T\}$, $A_T \subset V_T \times V_T$
 $S \subset V$: 出入り口
 $R \subset A_T$: 動線データが流れている枝の全体
 $r: R \rightarrow \mathbb{N}$: 枝ごとに流れている動線データ数
 $\delta(v, t) \subset A_T$: 点 (v, t) を始点とする枝の全体
 $\rho(v, t) \subset A_T$: 点 (v, t) を終点とする枝の全体
 U : 単位時間あたりに枝を通ることができる上限数
 $e = ((v, t), (w, t'))$ に対して $rev(e) := ((w, t), (v, t'))$

補完後のフロー $F: A_T \rightarrow \mathbb{N}$ は

minimize $\sum_{e \in A_T} F(e)$ (補完をできるだけしないようにする)
 目的関数
 subject to $\sum_{e \in \delta(v, t)} F(e) = \sum_{e \in \rho(v, t)} F(e)$ ($\forall v \in V \setminus S, t \in \{2, \dots, T-1\}$)
 制約条件 (フロー整合条件)
 $F(e) = r(e)$ ($\forall e \in R$) (元データ上のフローは保持)
 $F(e) + F(rev(e)) \leq U$ ($\forall e \in A_T$) (単位時間あたりの枝毎の通行量の制限)

の解で与えられる

最大フロー問題と同じく全ユニモジュラ性から線形計画問題を解くことで整数解が得られる

Recurrent Neural Networkによる需要予測

荷物のくる量(単位時間あたりの運び出すロールボックスの量)を時系列データとして入力

前時刻の中間層と今の時刻の入力によって出力が決まる

↓

時系列情報を考慮したネットワーク構造

その後の最適な人流・物流を計算する上での入力として用いることができる

応用例:

仕分け場所ごとの時間別混雑予測

⇒ ロールボックス一次停止(退避)場所の決定

- #### 今後の研究計画：グラフ探索&数理最適化と産業応用
1. 最先端理論 (Algorithm Theory) + 大規模実データ (Big Data) + 最新計算技術 (Computation) による超大規模問題の解決 ⇒ 個別技術ではなくアプリケーション提案
 2. サイバーフィジカルシステムにおける都市OS最適化エンジンと産業応用
 - ・ Society5.0 などが目指す超スマート社会に向けて、道路や電力網などのインフラを含めた都市計画への活用から、ヒト・モノの動きの解析まで多岐にわたる課題を解決
 - ・ ヒト, モノ, エネルギー, 情報の移動性 (モビリティ) に関する最適化やシミュレーション
 - ・ Graph500 ベンチマーク 5期連続世界第1位を達成したグラフ解析技術の活用
 3. ビッグデータ解析, 数理最適化, AI(人工知能), HPC(高性能計算)及びサイバーセキュリティなどの最新技術の組合せや融合による社会実装(学術機関及び民間企業との連携) ⇒ Post K(理研) + 九大 Ito(次期) + 東工大TSubame 3 + 産総研 ABCI の活用

社会システムの事前解析、デザイン及び問題解決

超大規模センサー

- ・ 観測データ
- ・ スマートグリッド
- ・ 交通・輸送
- ・ SNS (Twitter)

交通、災害復興、避難、ロジスティクス、都市計画

エネルギー、省電力

物理、化学、生物などの科学

医学、バイオ

経済、経営、金融

ビッグデータ解析, 数理最適化, AI(人工知能), HPC(高性能計算)及びサイバーセキュリティ

次世代スーパーコンピュータ(2017年以降)

MI レクチャーノートシリーズ刊行にあたり

本レクチャーノートシリーズは、文部科学省 21 世紀 COE プログラム「機能数学の構築と展開」(H.15-19 年度)において作成した COE Lecture Notes の続刊であり、文部科学省大学院教育改革支援プログラム「産業界が求める数学博士と新修士養成」(H19-21 年度)および、同グローバル COE プログラム「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」(H.20-24 年度)において行われた講義の講義録として出版されてきた。平成 23 年 4 月のマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) 設立と平成 25 年 4 月の IMI の文部科学省共同利用・共同研究拠点として「産業数学の先進的・基礎的共同研究拠点」の認定を受け、今後、レクチャーノートは、マス・フォア・インダストリに関わる国内外の研究者による講義の講義録、会議録等として出版し、マス・フォア・インダストリの本格的な展開に資するものとする。

平成 26 年 10 月
マス・フォア・インダストリ研究所
所長 福本康秀

平成29年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 プロジェクト研究 研究集会 (I) 防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて

発行 2018年2月26日
編集 瀧澤重志, 小林和博, 佐藤憲一郎, 斎藤努, 清水正明, 間瀬正啓, 藤澤克樹, 神山直之
発行 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
九州大学大学院数理学府
〒819-0395 福岡市西区元岡744
九州大学数理・IMI 事務室
TEL 092-802-4402 FAX 092-802-4405
URL <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>

印刷 城島印刷株式会社
〒810-0012 福岡市中央区白金2丁目9番6号
TEL 092-531-7102 FAX 092-524-4411

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note	Mitsuhiro T. NAKAO Kazuhiro YOKOYAMA	Computer Assisted Proofs - Numeric and Symbolic Approaches - 199pages	August 22, 2006
COE Lecture Note	M.J.Shai HARAN	Arithmetical Investigations - Representation theory, Orthogonal polynomials and Quantum interpolations- 174pages	August 22, 2006
COE Lecture Note Vol.3	Michal BENES Masato KIMURA Tatsuyuki NAKAKI	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2005 155pages	October 13, 2006
COE Lecture Note Vol.4	宮田 健治	辺要素有限要素法による磁界解析 - 機能数理学特別講義 21pages	May 15, 2007
COE Lecture Note Vol.5	Francois APERY	Univariate Elimination Subresultants - Bezout formula, Laurent series and vanishing conditions - 89pages	September 25, 2007
COE Lecture Note Vol.6	Michal BENES Masato KIMURA Tatsuyuki NAKAKI	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2006 209pages	October 12, 2007
COE Lecture Note Vol.7	若山 正人 中尾 充宏	九州大学産業技術数理研究センター キックオフミーティング 138pages	October 15, 2007
COE Lecture Note Vol.8	Alberto PARMEGGIANI	Introduction to the Spectral Theory of Non-Commutative Harmonic Oscillators 233pages	January 31, 2008
COE Lecture Note Vol.9	Michael I.TRIBELSKY	Introduction to Mathematical modeling 23pages	February 15, 2008
COE Lecture Note Vol.10	Jacques FARAUT	Infinite Dimensional Spherical Analysis 74pages	March 14, 2008
COE Lecture Note Vol.11	Gerrit van DIJK	Gelfand Pairs And Beyond 60pages	August 25, 2008
COE Lecture Note Vol.12	Faculty of Mathematics, Kyushu University	Consortium "MATH for INDUSTRY" First Forum 87pages	September 16, 2008
COE Lecture Note Vol.13	九州大学大学院 数理学研究院	プロシーディング「損保数理に現れる確率モデル」 — 日新火災・九州大学 共同研究 2008 年 11 月 研究会 — 82pages	February 6, 2009

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.14	Michal Beneš, Tohru Tsujikawa Shigetoshi Yazaki	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2008 77pages	February 12, 2009
COE Lecture Note Vol.15	Faculty of Mathematics, Kyushu University	International Workshop on Verified Computations and Related Topics 129pages	February 23, 2009
COE Lecture Note Vol.16	Alexander Samokhin	Volume Integral Equation Method in Problems of Mathematical Physics 50pages	February 24, 2009
COE Lecture Note Vol.17	矢嶋 徹 及川 正行 梶原 健司 辻 英一 福本 康秀	非線形波動の数値と物理 66pages	February 27, 2009
COE Lecture Note Vol.18	Tim Hoffmann	Discrete Differential Geometry of Curves and Surfaces 75pages	April 21, 2009
COE Lecture Note Vol.19	Ichiro Suzuki	The Pattern Formation Problem for Autonomous Mobile Robots —Special Lecture in Functional Mathematics— 23pages	April 30, 2009
COE Lecture Note Vol.20	Yasuhide Fukumoto Yasunori Maekawa	Math-for-Industry Tutorial: Spectral theories of non-Hermitian operators and their application 184pages	June 19, 2009
COE Lecture Note Vol.21	Faculty of Mathematics, Kyushu University	Forum "Math-for-Industry" Casimir Force, Casimir Operators and the Riemann Hypothesis 95pages	November 9, 2009
COE Lecture Note Vol.22	Masakazu Suzuki Hoon Hong Hirokazu Anai Chee Yap Yousuke Sato Hiroshi Yoshida	The Joint Conference of ASCM 2009 and MACIS 2009: Asian Symposium on Computer Mathematics Mathematical Aspects of Computer and Information Sciences 436pages	December 14, 2009
COE Lecture Note Vol.23	荒川 恒男 金子 昌信	多重ゼータ値入門 111pages	February 15, 2010
COE Lecture Note Vol.24	Fulton B.Gonzalez	Notes on Integral Geometry and Harmonic Analysis 125pages	March 12, 2010
COE Lecture Note Vol.25	Wayne Rossman	Discrete Constant Mean Curvature Surfaces via Conserved Quantities 130pages	May 31, 2010
COE Lecture Note Vol.26	Mihai Ciucu	Perfect Matchings and Applications 66pages	July 2, 2010

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.27	九州大学大学院 数理学研究院	Forum “Math-for-Industry” and Study Group Workshop Information security, visualization, and inverse problems, on the basis of optimization techniques 100pages	October 21, 2010
COE Lecture Note Vol.28	ANDREAS LANGER	MODULAR FORMS, ELLIPTIC AND MODULAR CURVES LECTURES AT KYUSHU UNIVERSITY 2010 62pages	November 26, 2010
COE Lecture Note Vol.29	木田 雅成 原田 昌晃 横山 俊一	Magma で広がる数学の世界 157pages	December 27, 2010
COE Lecture Note Vol.30	原 隆 松井 卓 廣島 文生	Mathematical Quantum Field Theory and Renormalization Theory 201pages	January 31, 2011
COE Lecture Note Vol.31	若山 正人 福本 康秀 高木 剛 山本 昌宏	Study Group Workshop 2010 Lecture & Report 128pages	February 8, 2011
COE Lecture Note Vol.32	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2011 “TSUNAMI-Mathematical Modelling” Using Mathematics for Natural Disaster Prediction, Recovery and Provision for the Future 90pages	September 30, 2011
COE Lecture Note Vol.33	若山 正人 福本 康秀 高木 剛 山本 昌宏	Study Group Workshop 2011 Lecture & Report 140pages	October 27, 2011
COE Lecture Note Vol.34	Adrian Muntean Vladimír Chalupecký	Homogenization Method and Multiscale Modeling 72pages	October 28, 2011
COE Lecture Note Vol.35	横山 俊一 夫 紀恵 林 卓也	計算機代数システムの進展 210pages	November 30, 2011
COE Lecture Note Vol.36	Michal Beneš Masato Kimura Shigetoshi Yazaki	Proceedings of Czech-Japanese Seminar in Applied Mathematics 2010 107pages	January 27, 2012
COE Lecture Note Vol.37	若山 正人 高木 剛 Kirill Morozov 平岡 裕章 木村 正人 白井 朋之 西井 龍映 柴 伸一郎 穴井 宏和 福本 康秀	平成 23 年度 数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワーク ショップ 拡がっていく数学 ～期待される“見えない力”～ 154pages	February 20, 2012

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.38	Fumio Hiroshima Itaru Sasaki Herbert Spohn Akito Suzuki	Enhanced Binding in Quantum Field Theory 204pages	March 12, 2012
COE Lecture Note Vol.39	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Multiscale Mathematics: Hierarchy of collective phenomena and interrelations between hierarchical structures 180pages	March 13, 2012
COE Lecture Note Vol.40	井ノ口順一 太田 泰広 寛 三郎 梶原 健司 松浦 望	離散可積分系・離散微分幾何チュートリアル 2012 152pages	March 15, 2012
COE Lecture Note Vol.41	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2012 “Information Recovery and Discovery” 91pages	October 22, 2012
COE Lecture Note Vol.42	佐伯 修 若山 正人 山本 昌宏	Study Group Workshop 2012 Abstract, Lecture & Report 178pages	November 19, 2012
COE Lecture Note Vol.43	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Combinatorics and Numerical Analysis Joint Workshop 103pages	December 27, 2012
COE Lecture Note Vol.44	萩原 学	モダン符号理論からポストモダン符号理論への展望 107pages	January 30, 2013
COE Lecture Note Vol.45	金山 寛	Joint Research Workshop of Institute of Mathematics for Industry (IMI), Kyushu University “Propagation of Ultra-large-scale Computation by the Domain-decomposition-method for Industrial Problems (PUCDIP 2012)” 121pages	February 19, 2013
COE Lecture Note Vol.46	西井 龍映 栄 伸一郎 岡田 勘三 落合 啓之 小磯 深幸 斎藤 新悟 白井 朋之	科学・技術の研究課題への数学アプローチ —数学モデリングの基礎と展開— 325pages	February 28, 2013
COE Lecture Note Vol.47	SOO TECK LEE	BRANCHING RULES AND BRANCHING ALGEBRAS FOR THE COMPLEX CLASSICAL GROUPS 40pages	March 8, 2013
COE Lecture Note Vol.48	溝口 佳寛 脇 隼人 平坂 貢 谷口 哲至 鳥袋 修	博多ワークショップ「組み合わせとその応用」 124pages	March 28, 2013

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
COE Lecture Note Vol.49	照井 章 小原 功任 濱田 龍義 横山 俊一 穴井 宏和 横田 博史	マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 II 数式処理研究と産学連携の新たな発展 137pages	August 9, 2013
MI Lecture Note Vol.50	Ken Anjyo Hiroyuki Ochiai Yoshinori Dobashi Yoshihiro Mizoguchi Shizuo Kaji	Symposium MEIS2013: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 154pages	October 21, 2013
MI Lecture Note Vol.51	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2013 “The Impact of Applications on Mathematics” 97pages	October 30, 2013
MI Lecture Note Vol.52	佐伯 修 岡田 勘三 高木 剛 若山 正人 山本 昌宏	Study Group Workshop 2013 Abstract, Lecture & Report 142pages	November 15, 2013
MI Lecture Note Vol.53	四方 義啓 櫻井 幸一 安田 貴徳 Xavier Dahan	平成25年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 安全・安心社会基盤構築のための代数構造 ～サイバー社会の信頼性確保のための数理学～ 158pages	December 26, 2013
MI Lecture Note Vol.54	Takashi Takiguchi Hiroshi Fujiwara	Inverse problems for practice, the present and the future 93pages	January 30, 2014
MI Lecture Note Vol.55	栄 伸一郎 溝口 佳寛 脇 隼人 洪田 敬史	Study Group Workshop 2013 数学協働プログラム Lecture & Report 98pages	February 10, 2014
MI Lecture Note Vol.56	Yoshihiro Mizoguchi Hayato Waki Takafumi Shibuta Tetsuji Taniguchi Osamu Shimabukuro Makoto Tagami Hirotake Kurihara Shuya Chiba	Hakata Workshop 2014 ~ Discrete Mathematics and its Applications ~ 141pages	March 28, 2014
MI Lecture Note Vol.57	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2014: “Applications + Practical Conceptualization + Mathematics = fruitful Innovation” 93pages	October 23, 2014
MI Lecture Note Vol.58	安生健一 落合啓之	Symposium MEIS2014: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 135pages	November 12, 2014

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
MI Lecture Note Vol.59	西井 龍映 岡田 勘三 梶原 健司 高木 剛 若山 正人 脇 隼人 山本 昌宏	Study Group Workshop 2014 数学協働プログラム Abstract, Lecture & Report 196pages	November 14, 2014
MI Lecture Note Vol.60	西浦 博	平成 26 年度九州大学 IMI 共同利用研究・研究集会 (I) 感染症数理モデルの実用化と産業及び政策での活用のための新たな展開 120pages	November 28, 2014
MI Lecture Note Vol.61	溝口 佳寛 Jacques Garrigue 萩原 学 Reynald Affeldt	研究集会 高信頼な理論と実装のための定理証明および定理証明器 Theorem proving and provers for reliable theory and implementations (TPP2014) 138pages	February 26, 2015
MI Lecture Note Vol.62	白井 朋之	Workshop on “ β -transformation and related topics” 59pages	March 10, 2015
MI Lecture Note Vol.63	白井 朋之	Workshop on “Probabilistic models with determinantal structure” 107pages	August 20, 2015
MI Lecture Note Vol.64	落合 啓之 土橋 宜典	Symposium MEIS2015: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 124pages	September 18, 2015
MI Lecture Note Vol.65	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2015 “The Role and Importance of Mathematics in Innovation” 74pages	October 23, 2015
MI Lecture Note Vol.66	岡田 勘三 藤澤 克己 白井 朋之 若山 正人 脇 隼人 Philip Broadbridge 山本 昌宏	Study Group Workshop 2015 Abstract, Lecture & Report 156pages	November 5, 2015
MI Lecture Note Vol.67	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	IMI-La Trobe Joint Conference “Mathematics for Materials Science and Processing” 66pages	February 5, 2016
MI Lecture Note Vol.68	古庄 英和 小谷 久寿 新甫 洋史	結び目と Grothendieck-Teichmüller 群 116pages	February 22, 2016
MI Lecture Note Vol.69	土橋 宜典 鍛冶 静雄	Symposium MEIS2016: Mathematical Progress in Expressive Image Synthesis 82pages	October 24, 2016
MI Lecture Note Vol.70	Institute of Mathematics for Industry, Kyushu University	Forum “Math-for-Industry” 2016 “Agriculture as a metaphor for creativity in all human endeavors” 98pages	November 2, 2016
MI Lecture Note Vol.71	小磯 深幸 二宮 嘉行 山本 昌宏	Study Group Workshop 2016 Abstract, Lecture & Report 143pages	November 21, 2016

シリーズ既刊

Issue	Author/Editor	Title	Published
MI Lecture Note Vol.72	新井 朝雄 小嶋 泉 廣島 文生	Mathematical quantum field theory and related topics 133pages	January 27, 2017
MI Lecture Note Vol.73	穴田 啓晃 Kirill Morozov 須賀 祐治 奥村 伸也 櫻井 幸一	Secret Sharing for Dependability, Usability and Security of Network Storage and Its Mathematical Modeling 211pages	March 15, 2017
MI Lecture Note Vol.74	QUISPEL, G. Reinout W. BADER, Philipp MCLAREN, David I. TAGAMI, Daisuke	IMI-La Trobe Joint Conference Geometric Numerical Integration and its Applications 71pages	March 31, 2017
MI Lecture Note Vol.75	手塚 集 田上 大助 山本 昌宏	Study Group Workshop 2017 Abstract, Lecture & Report 118pages	October 20, 2017
MI Lecture Note Vol.76	宇田川誠一	Tzitzéica 方程式の有限間隙解に付随した極小曲面の構成理論 —Tzitzéica 方程式の楕円関数解を出発点として— 68pages	August 4, 2017
MI Lecture Note Vol.77	松谷 茂樹 佐伯 修 中川 淳一 田上 大助 上坂 正晃 Pierluigi Cesana 濱田 裕康	平成 29 年度 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 共同利用研究集会 (I) 結晶の界面, 転位, 構造の数理 148pages	December 20, 2017



Institute of Mathematics for Industry
Kyushu University

九州大学マス・フォア・インダストリ研究所
九州大学大学院 数理学府

〒819-0395 福岡市西区元岡744 TEL 092-802-4402 FAX 092-802-4405
URL <http://www.imi.kyushu-u.ac.jp/>