
センサーネットワークの観測事象の 特徴量に関する考察

NTTコミュニケーション科学基礎研究所
平松 薫, 服部正嗣, 山田辰美, 岡留 剛

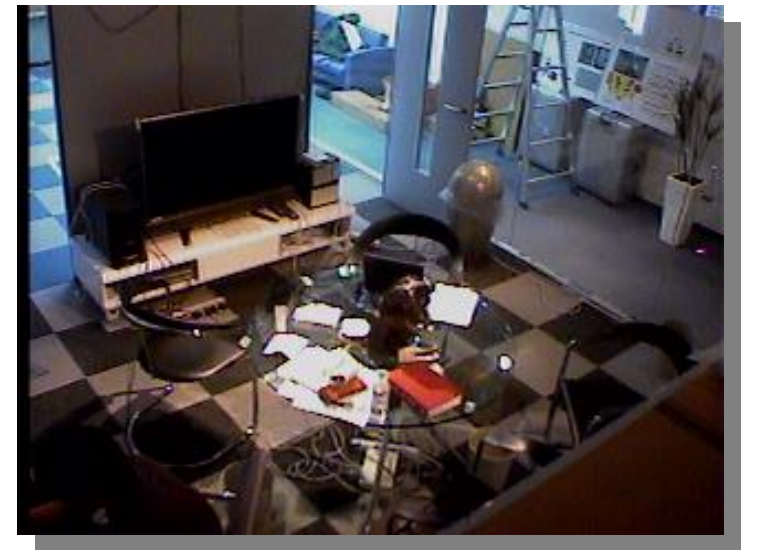
発表概要

- 背景と課題とアプローチ
- 実験概要
 - 試作センサーノードとセンサーネットワーク
 - 「変化」に基づく状況認識
- まとめ

背景

- ユビキタスコンピューティング
 - “Next comes ubiquitous computing, or the age of calm technology, when technology recedes into the background of our lives.”
- M.Weiser
- 日常生活を支援する
コンテクストアウェアアプリケーション
 - 小型センサーとネットワークで可能に
 - 工場や病院だけでなく家庭やオフィスでも

Target:
家庭やオフィスにおける
context-aware application



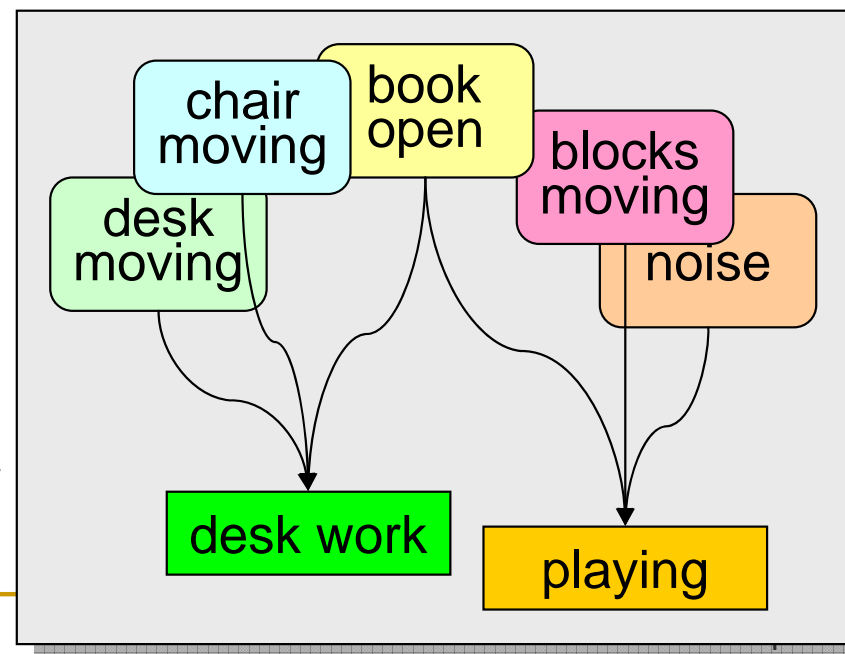
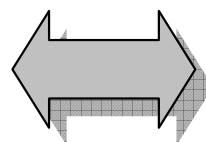
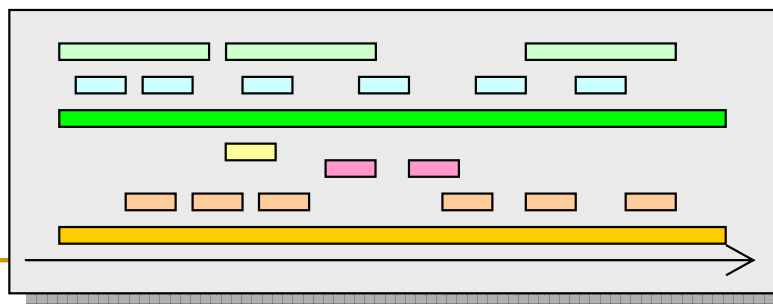
課題

■ Context-aware applications need “CONTEXTS”

- 家庭やオフィスにおけるコンテキストを表現することは難しい
なぜなら、多くのオブジェクトの様々な振る舞いに関連したデータをシステムは処理しなければならないから



- 観察されたコンテキストの間には時間順序や意味的包含関係が存在する



アプローチ

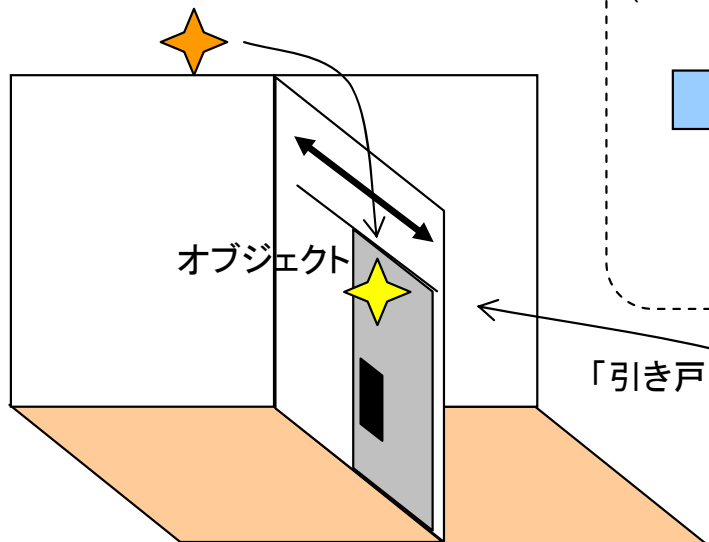
- センサーデータが観測する「**変化**」に注目
 - 変化の集合が コンテキスト(状況)
 - 変化の原因は環境要因もしくは人間の行動
→ 人間が原因の場合は変化は**局所的**
e.g. ドアを開ける, 椅子を動かす, ライトを点灯
 - (最終的には)実世界に関する知識 を利用して
「数値→ラベル→概念→状況」の多段抽象化を目指す
- 物体に小型センサーノードを添付して
人間が原因の「**変化**」を観測
 - センサーネットワークの観測事象の特徴量を分析

同時性や順序性の確認・発見
センサーノードの性能・配置の妥当性

壁面と近接
壁面と平行に往復運動 = 横滑り

変異(x,y,z,t) = (x0,y0,z0,t0),
(x1,y1,z1,t1),
...

天井のタグ(センサ)が
オブジェクトの(相対)変異を観測



人感センサー A, B が人を感じ
A が人を感じ、オブジェクトが往復し、B が人を感じ
人の移動軌跡とオブジェクトの軌跡が交差

製造物に関する知識

製造物の属性情報

引き戸

195x85 木材 鍵なし 横滑り

製造物のオントロジ

ドア

大きさ 材質 鍵 可動方向

変異に関する知識

Is-a 関係
(subClassOf)

変異

変形

移動

生成

横滑り

物体に関する知識

Is-a 関係
(subClassOf)

物

人工物

障壁

フェンス

移動障壁

バリケード

ゲート

ドア

ハッチ

引き戸

非常用扉

回転扉

人の出入り口

横に滑らせ
開け閉めする戸

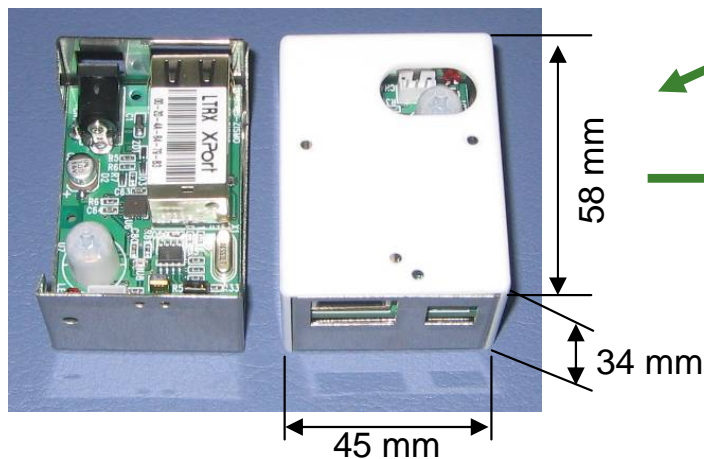
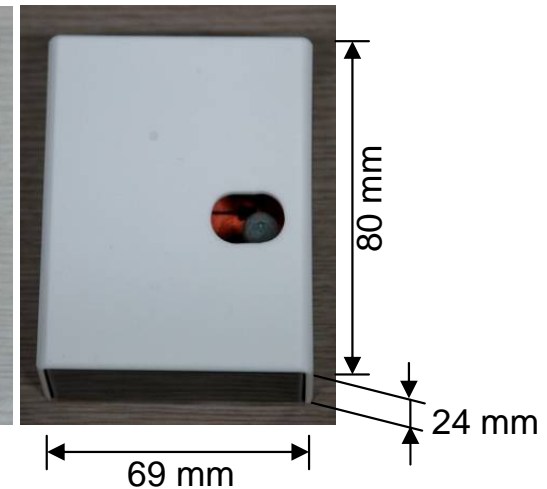
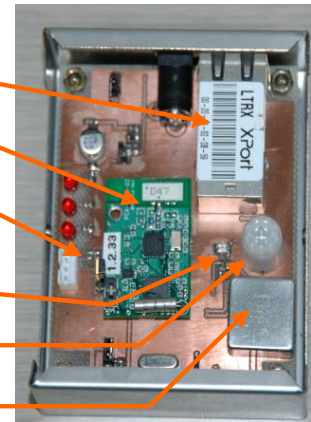
発表概要

- 背景と課題とアプローチ
- 実験概要
 - 試作センサーノードとセンサーネットワーク
 - 「変化」に基づく状況認識
- まとめ

実験：試作センサーノード

コンセプト：物に貼り付き「そこ」の環境を調査するデバイス

- XPortイーサネットコントローラー
- Millennial Net 無線モジュール
- 温度・湿度センサー
- 照度センサー
- 焦電センサー
- 三軸加速度センサー



小型化

ワイヤレス化

無線モジュール
(802.15.4)
電池駆動
(携帯電話用)

装備しているセンサーの仕様

センサーが出力する信号を組込型CPUへ入力

— アナログデータ → AD変換 (10bits) → 数値 (単位変換)

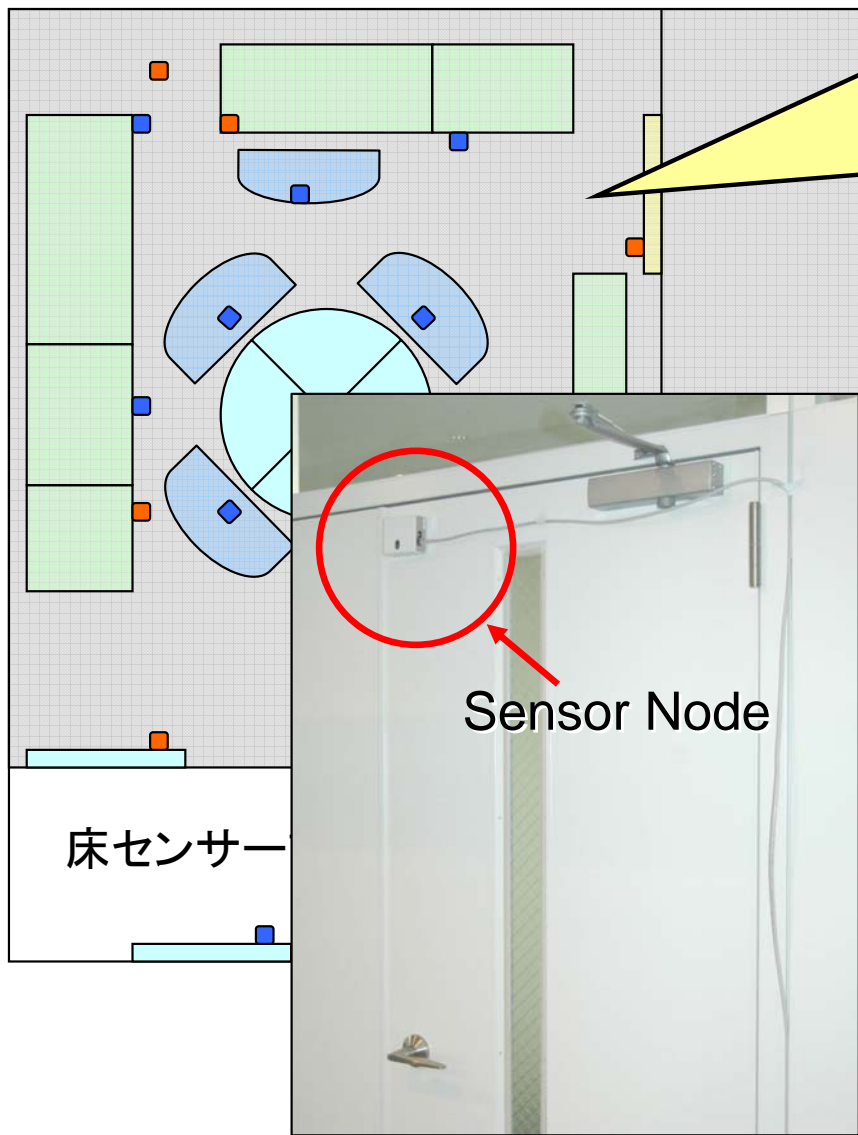
— デジタルデータ → PIOポート → H/L

	単位	変化域	周波数応答
加速度 (3軸)	G	+3G ~ -3G	1kHz
照度	lux		10 Hz
温度	°C	5 °C ~ 40 °C	1 Hz 未満
湿度	%	5 % ~ 80 %	1 Hz 未満
人感 (焦電型)	on/off	on/off	20 Hz

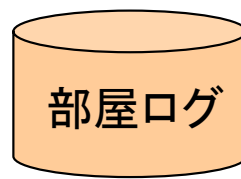
参考：観測データ量

- 1センサーノード当たりの出力データ量：
 - アナログ(6ch) x 10bits + デジタル(1ch) x 1bit = 61 bits
 - $61 \times 10 \text{ (Hz)} \times 60 \text{ (秒)} \times 60 \text{ (分)} \times 24 \text{ (時)} \doteq 6.28 \text{ MB/日}$
 - $6.28 \text{ MB/日} \times 30 \text{ (日)} \times 12 \text{ (月)} \doteq 2.21 \text{ GB/年}$
 - 1室に 100 ノードとすると 221 GB/年・室
- 画像データ：
 - $320 \times 240 \rightarrow 20\text{KB/frame}$
 - $20 \times 5 \text{ (frame/sec)} \times 4 \text{ (ch)} \times 60 \times 60 \times 24 = 32.96 \text{ GB/日}$

センサーノード配置図

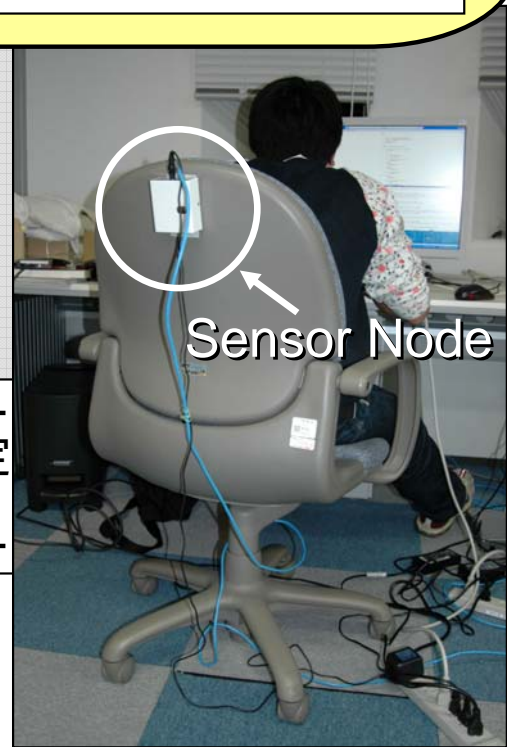


センサーノードの観測情報を
サーバのディスクに保存



- ➡ モニタリング
- ➡ 分析・解析
- ← アプリケーション

センサーデータ取得予定
センサーデータ取得中

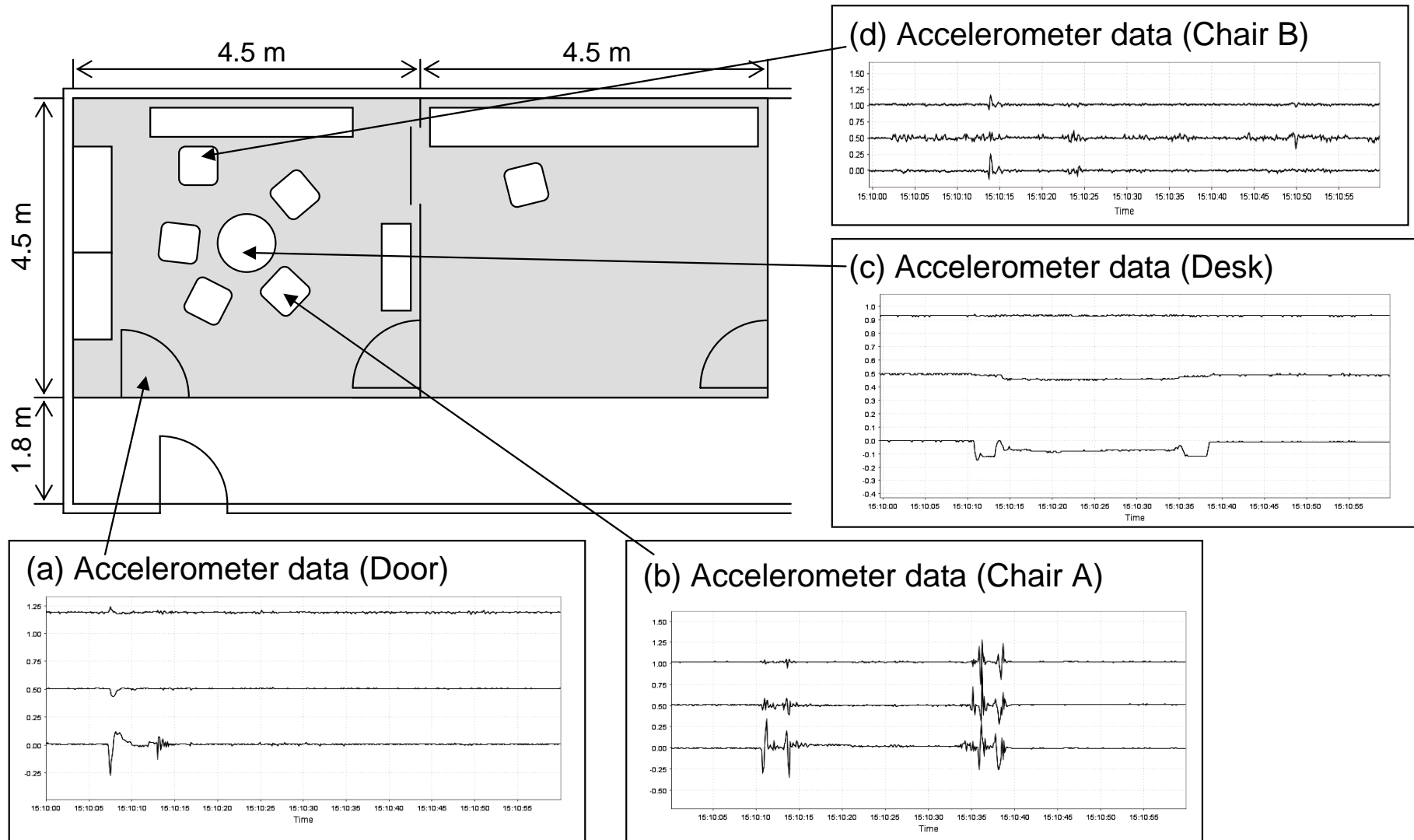


部屋のレイアウト

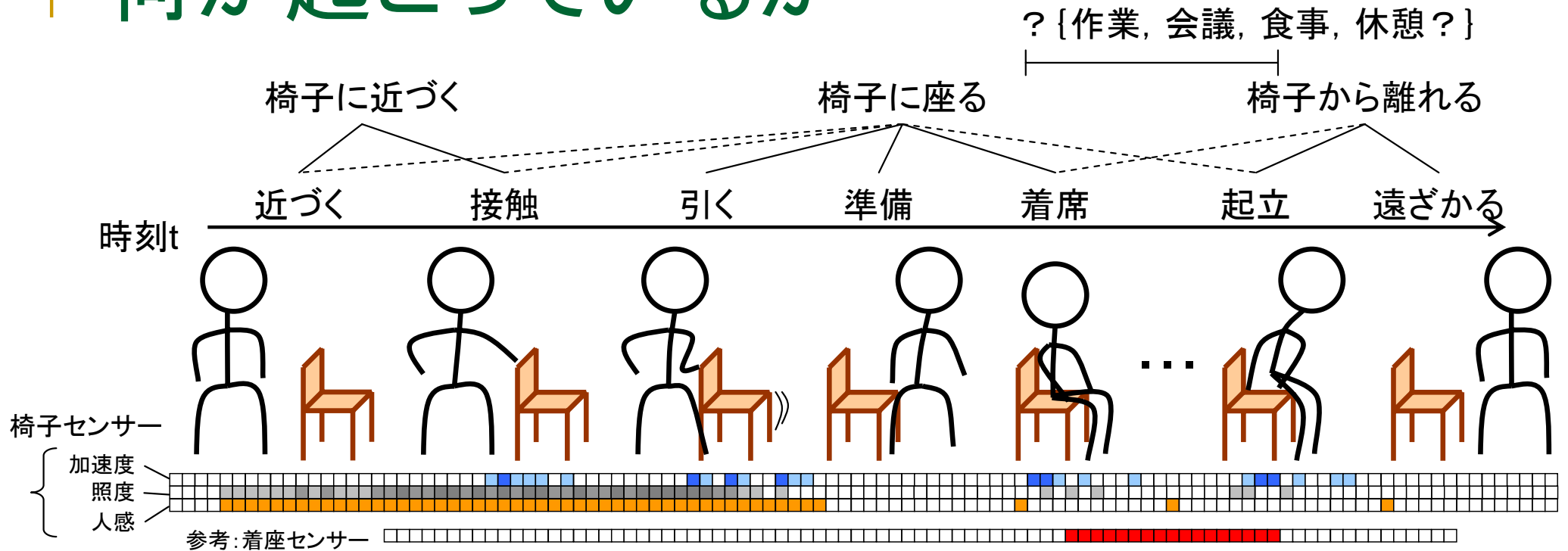


センサーデータ

観測したデータはネットワーク経由でサーバに保存 (sampling rate = 100 ms)



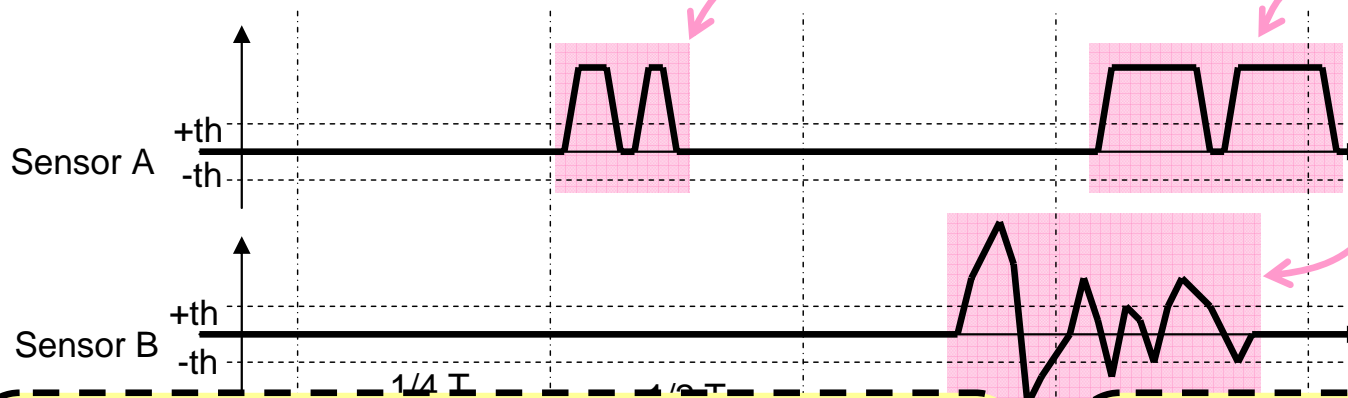
何が起きているか



■ 動き・変化の検出

- 「何か」起きている状態とない状態の判別
- 複数のセンサーで観測した「環境の動き・変化」の認識

センサーデータの「変化」の検出



設定した時間窓の範囲で変化量が閾値を超過
↓
「変化あり」

- 長所:**
- 計算が簡単 (センサーノードでも可能)
 - データをパックするとコンパクトに (ネットワーク負荷の低減)

- 短所:**
- 信号の波形特徴を破棄
 - 変化へ情報を追加する必要あり

$1/2 T$	B	x	○
$1/1 T$	A		○
	B		○

0.5	0.5
1.0	1.0
1.0	

長さの異なる時間窓を適用して変化の有無を確認

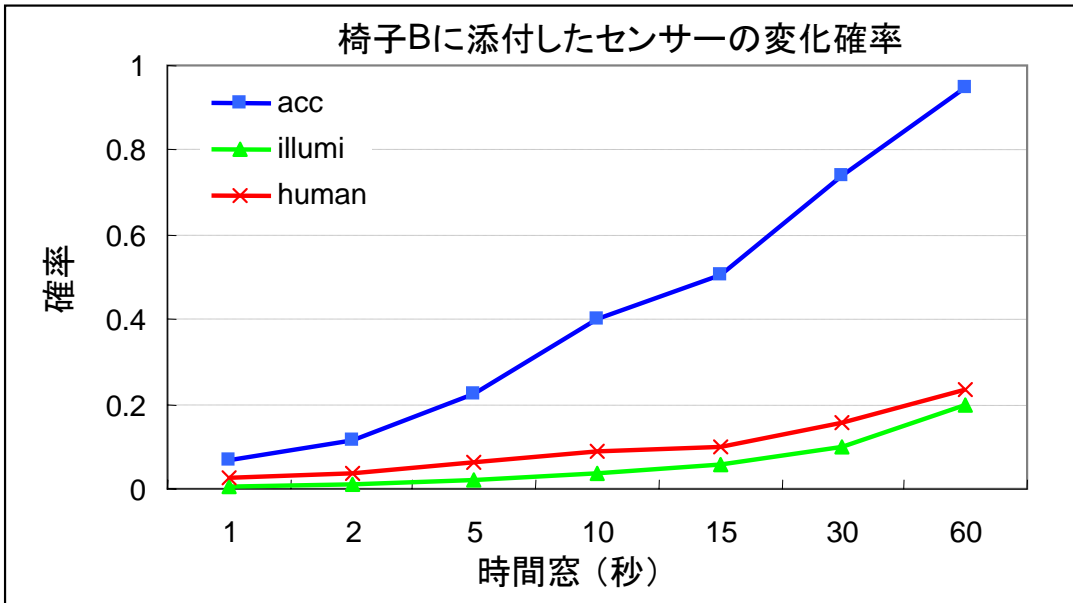
変化の発生確率と変化の共起確率を計算

変化に注目した特徴量の算出

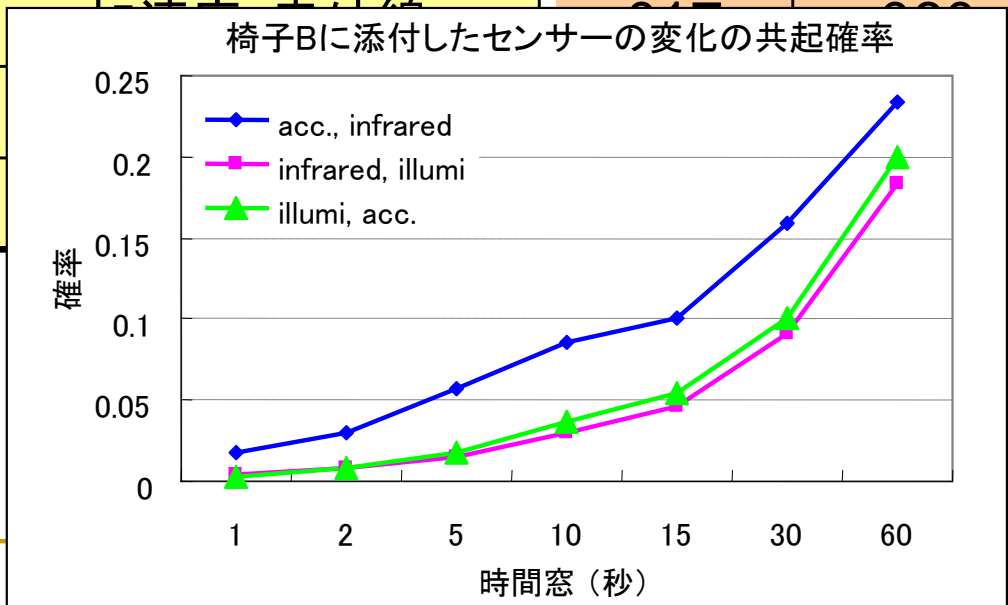
- センサーデータの変化に注目
 - 時間窓の期間内に閾値以上の変化があった場合に「変化発生」とみなす
 - 時間窓は複数設定(1,5,10,15,30,60秒)
 - 各センサーにおける変化の発生確率
 - センサー間の変化の共起確率
(センサーノード内, センサーノード間, その他)

センサーノード内の変化確率・共起確率

加速度センサーの変化
 → 椅子が「動いている」
 → 人間が「座っている」

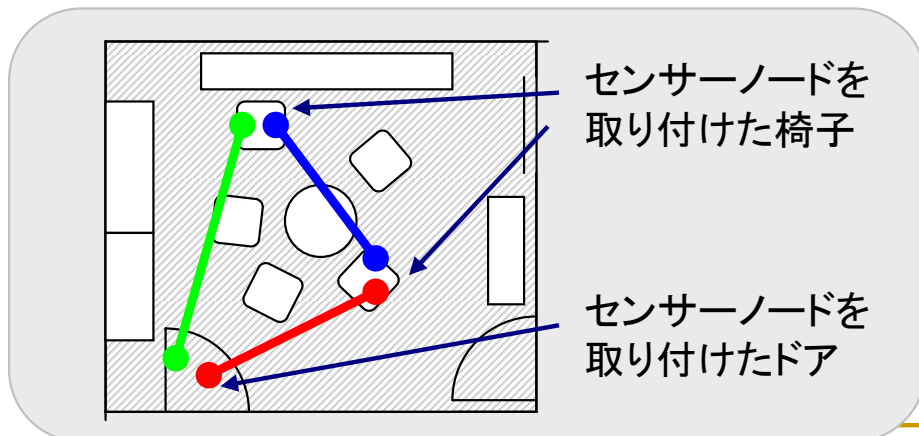
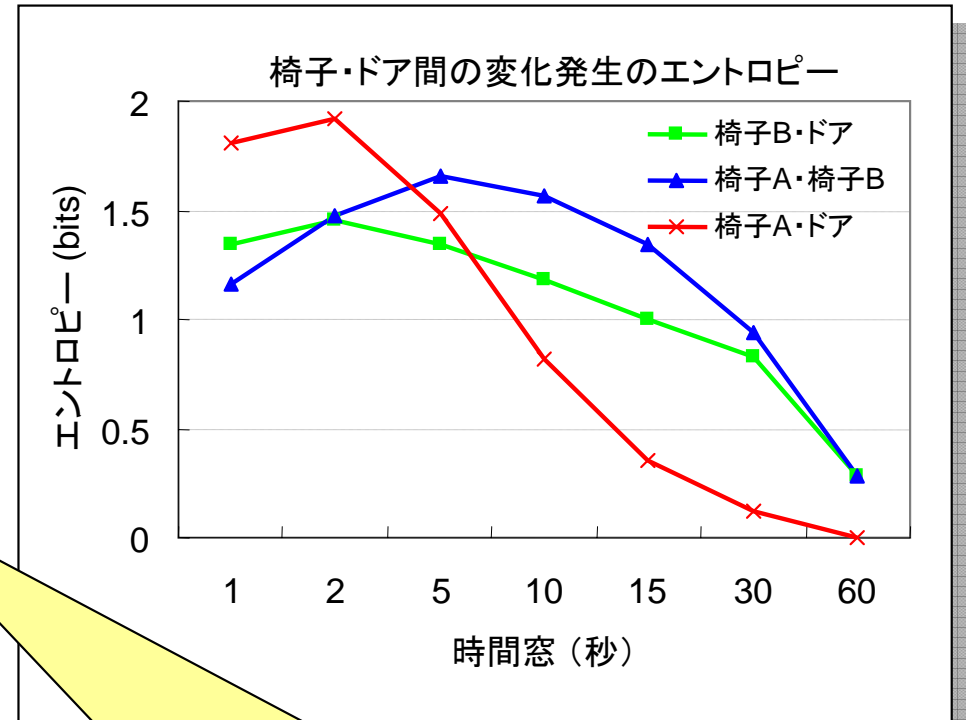
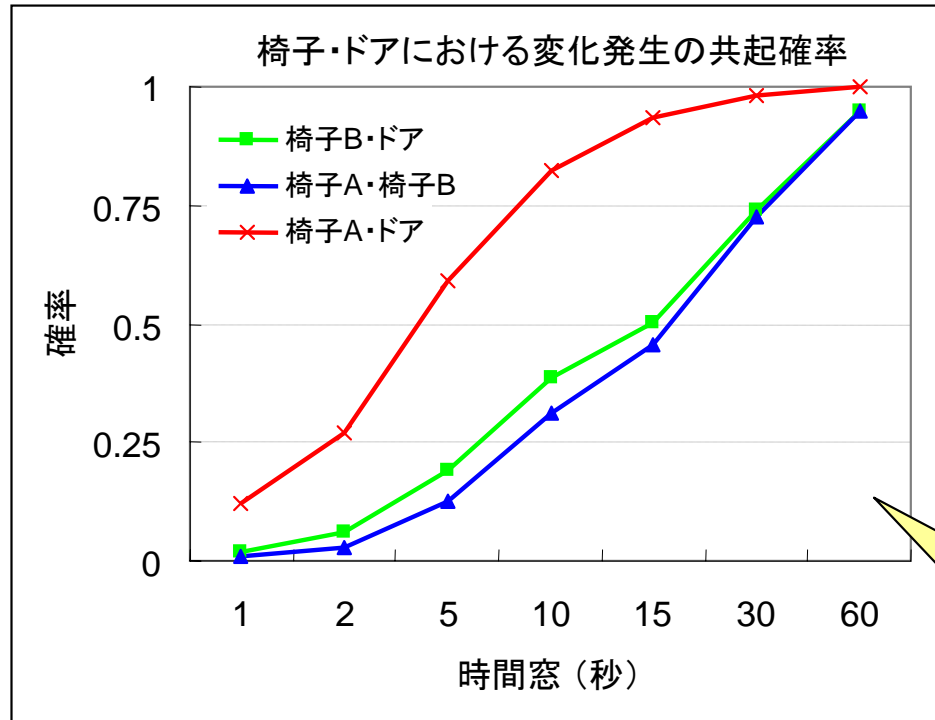


	10秒	15秒	30秒
acc	.403	.504	.712
illumi	.086	.100	.158
human	.039	.058	.100
acc, infrared	.086	.100	.158
infrared, illumi	.036	.054	.100
illumi, acc.	.030	.046	.091



センサー間の変化確率に
 大差がない
 → 各々が独立にデータ観測

センサーノード間の変化の共起確率

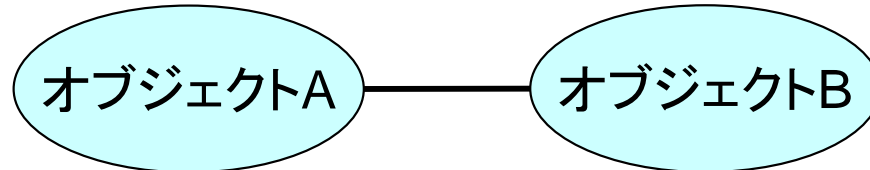


椅子Aとドアの加速度変化が短い時間窓で他より強く共起
→ 2~5秒の間に変化が共起
→ 人間の動きが強く関係

変化共起確率に基づくレイアウト

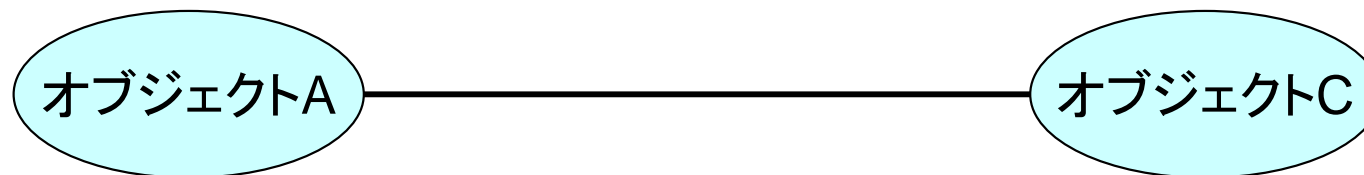
- 動き・変化の発生が一定時間以内にもともに発生する確率の逆数を距離としてセンサーノードをレイアウト
 - Graphviz の neato を利用

変化共起確率 : 0.8



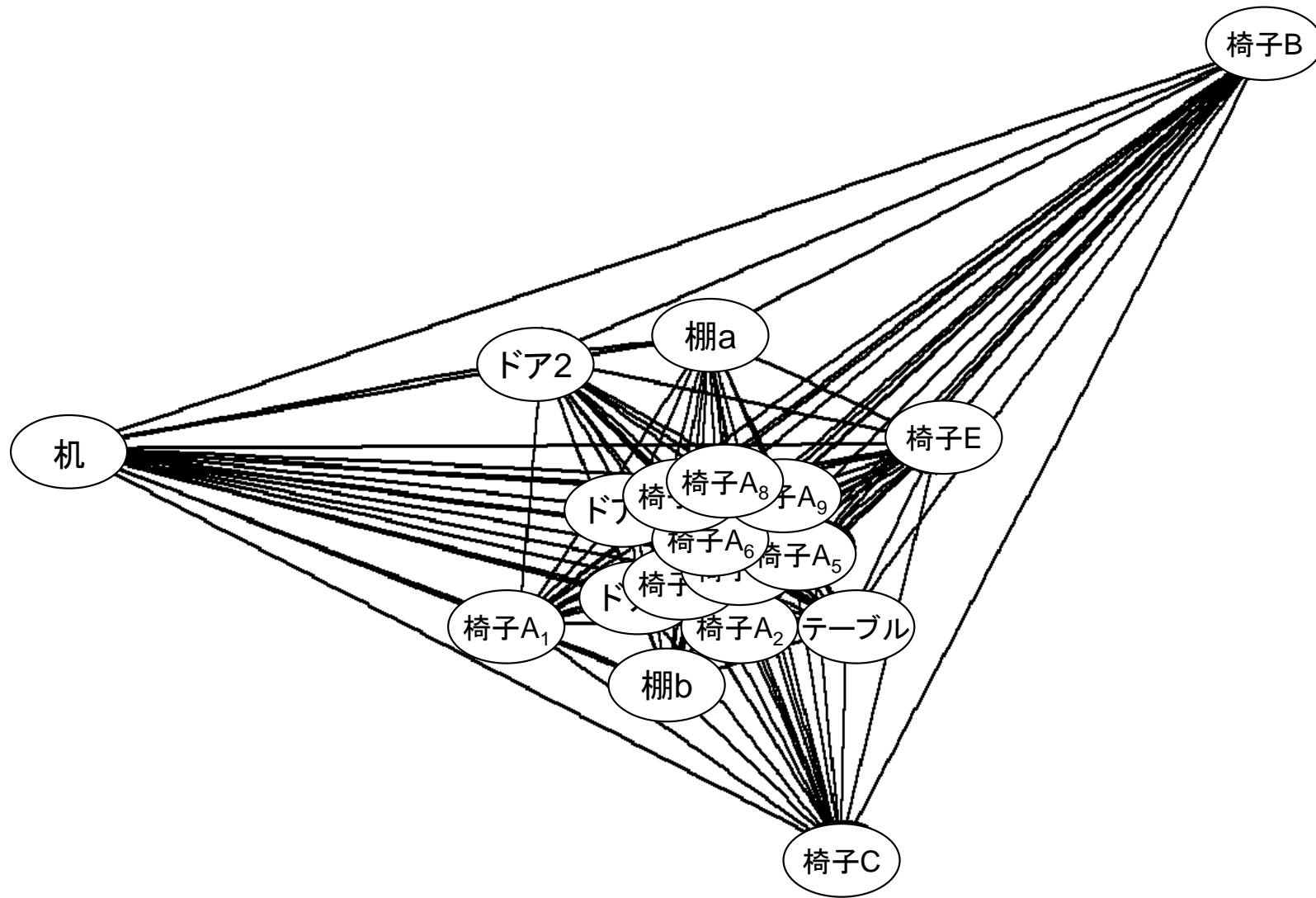
$$1 / 0.8 = 1.25$$

変化共起確率 : 0.2



$$1 / 0.2 = 5$$

変化共起確率に基づく物体間の関係



発表概要

- 背景と課題とアプローチ
- 実験概要
 - 試作センサーノードとセンサーネットワーク
 - 「変化」に基づく状況認識
- まとめ

センサーデータの変化の確率から

- 時間幅拡大による変化確率・共起確率の増大
 - 「変化確率・共起確率」を「物体の利用頻度」に読み換え
 - 椅子のゆれ → (予想)着席時間
 - ドアの動き+椅子のゆれ → 作業時間
(共起した変化の組合せから状況を推測)
 - 「共起確率」から変化の発生した場所の間の距離を推測
 - (1) 椅子が動き床が反応 → 均一発生 → 接触
 - (2) 椅子が動きドアが動く → 5秒以内は低頻度 → (1)より遠い
- センサーデータからノイズを除去
 - 一つの事象を複数のセンサーが観測する程度にセンサーを密に配置

周辺知識との関連付け

- 観測した動き・変化へのラベル付け
 - 単純に信号として
 - 「一定・上昇・下降・振動・ON・OFF・...」
 - センサーの種類を考慮して
 - 移動, 落下, 明るくなる, 暖かくなる, 人が接近
- ラベル系列へのラベル付け
 - 例: 停止, 直線移動, 停止 → 直線運動
停止, 移動, 停止, 逆方向へ移動, 停止 → 往復運動
- 意味のある状態の抽出
 - 上記状態を時系列的・空間的にまとめて
情報量, エントロピーを計算すると判別可能?

変化に注目したセンサーデータ処理

- 利用可能な機器で機械的に実施
 - 信号解析はセンサーノードでは辛い
 - ネットワーク経由で多数ノードから情報収集は困難
 - 簡単なデータモデルに基づく簡単な開発
 - センサーデータの変化に注目
 - 観測される各物理量の変化量からイベントを検出
 - 変化とその共起の確率から状況を推定し、ルールへの変換や抽象的概念へのマッピング
- ※ 室内の「位置」は今回は推測対象に

まとめ

- 現在までの到達点：
 - センサーデータの変化確率に注目した分析により状況変化の同時性と順序性について検討
- 今後の課題
 - 変化の次に注目すべき特徴量は？
 - センサー間の関係の把握は？
 - 知識と関連付けた処理
 - アプリケーションの検討

