

屋内でのBLEビーコンを活用した 移動ログデータに基づく位置推定手法の提案

大阪府立大学大学院 人間社会システム科学研究科 森田研究室
酒井瑞樹

目次

◆研究の背景・目的	...p.2
◆先行研究・先行事例	...p.3
◆本研究における環境設定	...p.6
◆提案手法概要	...p.9
■対象としているビーコンを用いた位置推定の環境	
■プログラミングカーを用いたデータ取得方法	
■取得したデータからの位置推定方法の提案	
◆実証実験・結果	...p.17
◆考察	...p.23
◆まとめ・今後の課題	...p.28

研究の背景・目的

- 購買履歴データを用いた分析が活用されている
 - CRMへの応用
 - 離反顧客の防止
- ICTによって店舗内での顧客の巡回行動ログの取得可能性が増大
 - スマートデバイスの普及
 - 通信技術の発達、低コスト化



- ✓ 購買履歴データと巡回行動ログを併せて分析すれば、購買履歴データだけではわからない**興味関心などを明確化**できる

目的: 移動体を受信するビーコンの受信電波強度(以下、RSSI)ログから移動体の位置推定方法を提案し、評価を行うこと

先行研究 店舗内顧客行動ログの取得

- RFID技術を用いて顧客の店舗内移動ログを取得

(藤野ら 2014)

→RFIDの技術的な問題により、精度の向上に課題を残している



- ✓ **Bluetooth**によるBLEビーコンを用いた手法が登場

- 株式会社トライアルホールディングスの事例

- 売り場に設置されたBLEビーコンから位置情報を取得し、カートに備え付けられたタブレット端末に推奨品を表示する取り組みの実証実験を行っている

→詳細な位置の把握は行っていない

先行研究 BLEビーコンを用いた手法

- Bluetoothなどの電波の特性として、発信源から遠ざかるほど、受信時の電波強度が弱くなる性質を持つ
- この特性を利用し、BLEビーコンのRSSIから発信機-受信機間の大まかな距離を推定することが可能



- しかし、屋内の場合、壁や天井によって反射した電波同士の干渉が起こりやすく、誤差の原因となる



- ✓ RSSIデータから直接的に正確な距離を算定することは極めて困難である

先行研究 BLEビーコンを用いた手法

BLEビーコンを用いた手法の先行研究

- ベクトル空間モデルを用いた手法 (古舘ら2014)
- ビーコンの配置に工夫し、干渉を軽減させた手法
(酒井ら2016)

→いずれも静止体の推定を行っているが、移動体については未検証

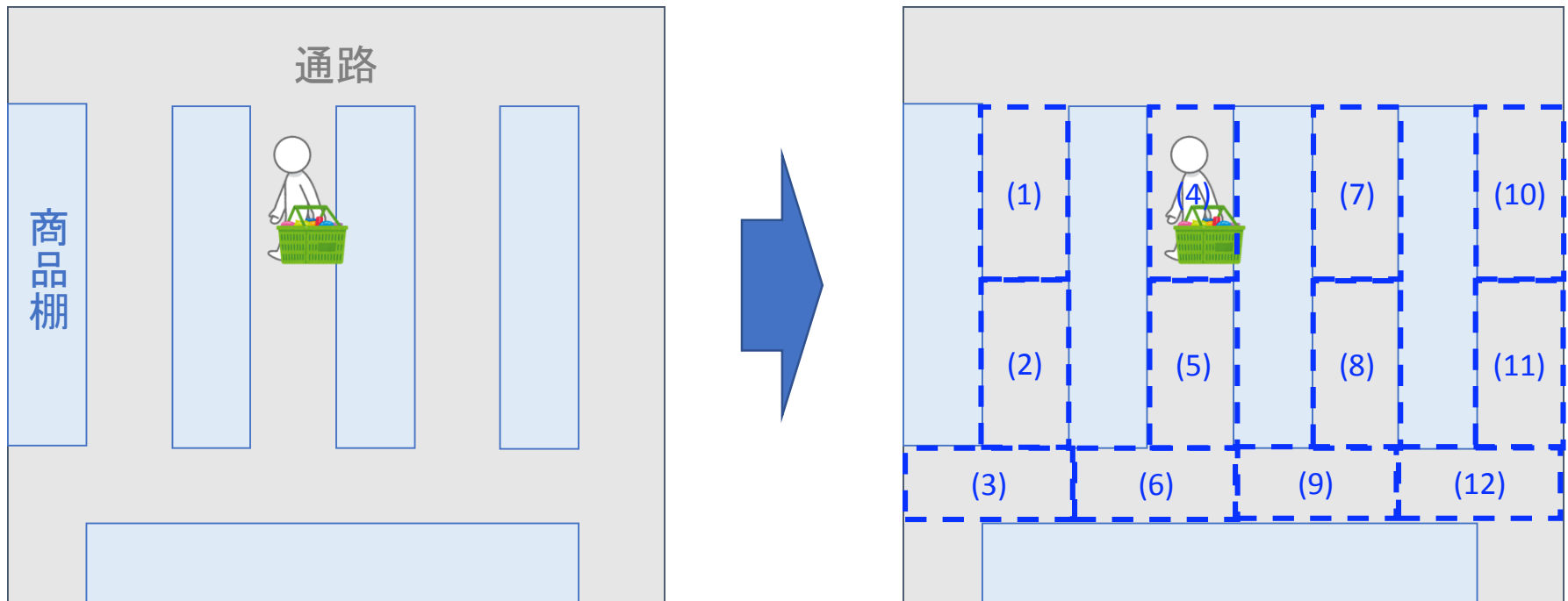
我々の研究の貢献

- ✓ RSSIから距離を測るのではなく、複数のビーコンの**時系列RSSIデータ**から位置の推定を行う手法を提案
- ✓ **大量にデータ取得**を行い、検証を行う

本研究における環境設定(1)

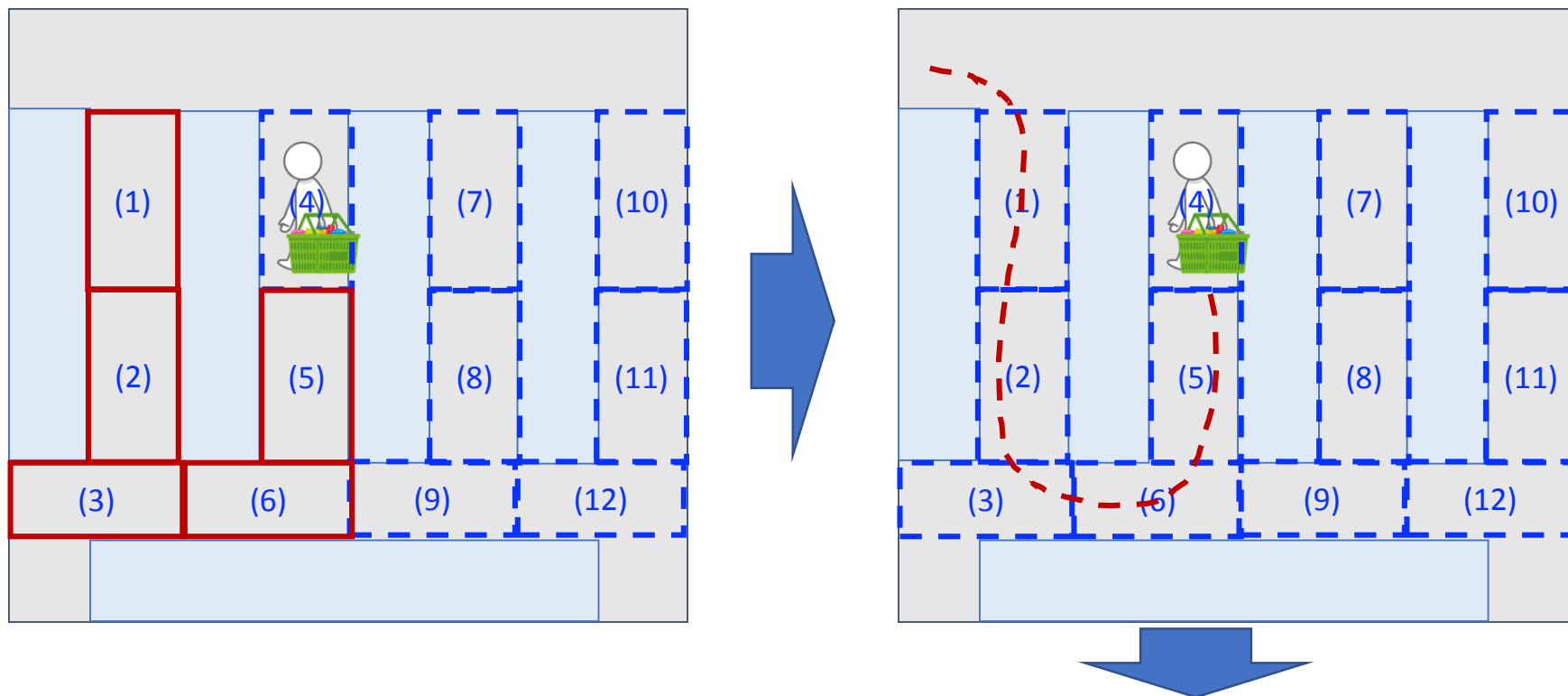
- 店舗内を複数のエリアに分割
- 顧客はスマートデバイスを所持し、
時系列RSSIデータを取得しながら店舗内を巡回する状況を想定

店舗内展開図の例



本研究における環境設定(2)

- 取得した時系列RSSIデータから顧客の辿ったエリアを推定し、顧客の巡回行動を推定する

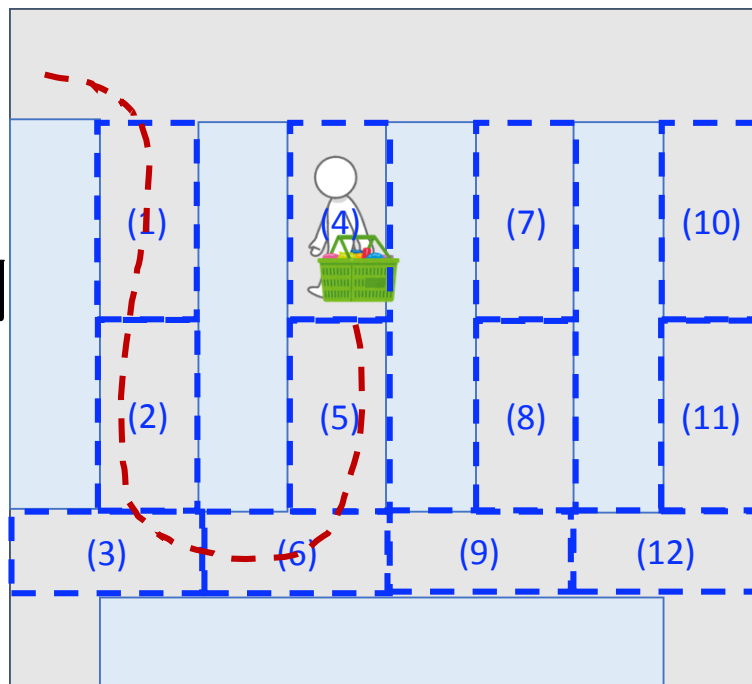


巡回エリアシーケンス: $\langle 1, 2, 3, 6, 5, \dots \rangle$

本研究における環境設定(3)

課題解決の手順

- 巡回行動の移動軌跡を推定する問題を設定
- スマートデバイスにより時系列RSSIデータを取得
- エリア分類問題を決定木により解き、位置推定を行う



提案手法 ビーコンの種類

- 既存研究では、一般型ビーコンのみを使用



✓ **2種類のビーコン**を使用して、精度の向上を図る

■ 一般型Beacon

10m以上の範囲でも受信可能。

狭い範囲に数多く設置すると電波の干渉の恐れが生じる。

→少数で広範囲を検知する目的

■ 近接型Beacon

受信可能範囲を2m以下の範囲に制限。

干渉は起こりにくいですが、電波の受信率が低くなる。

→詳細な範囲のみを検知



提案手法 ビーコン配置における工夫

- 既存研究では、空間内に一般型ビーコンを一定間隔で配置

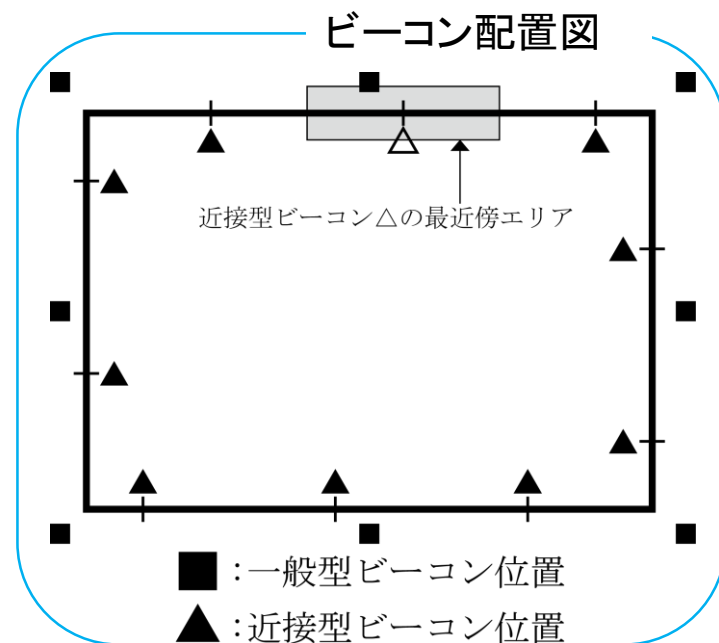


✓ 巡回コースに一般型と近接型ビーコンを混在配置

- **一般型**は全域的傾向を把握するため
コースの周囲に配置
- **近接型**は詳細な範囲を検知するため
エリアごとに配置

✓ 近接型は1箇所につき**3個ずつ**配置

- 近接型ビーコンはその特性から電波が微弱なため、**安定性の向上を図る**



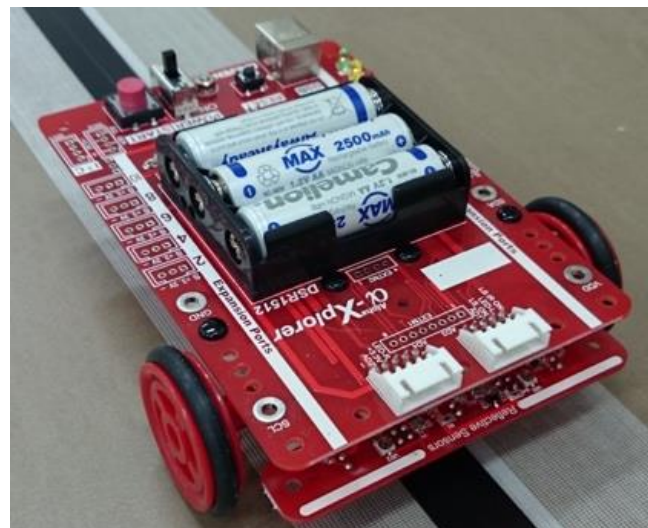
提案手法 データ取得の工夫

- 推定結果を検証するためには、大量のデータが必要だが、人力で巡回しデータを収集するには限度がある



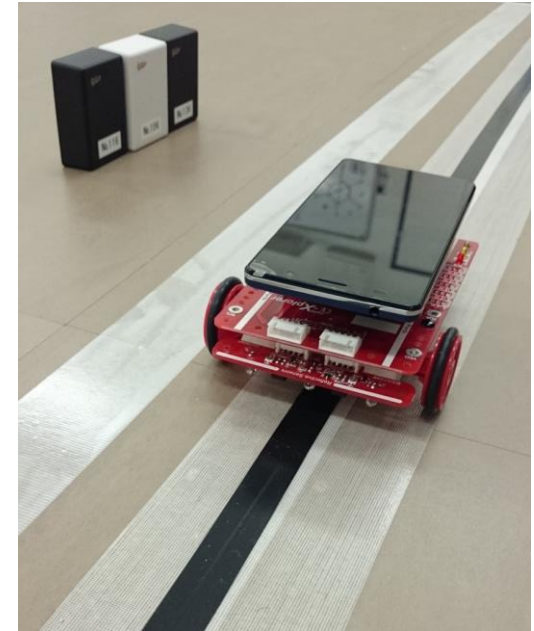
✓ 自動走行を行うプログラミングロボットを活用

- ライントレースのプログラムを組み、黒い線上を走行するように設定
- スマートデバイスを装着させ、巡回コースを周回し、データを取得し続ける
- モーターの回転数を制御することで速度の調整も可能



α-Xplorer(株式会社ダイセン電子工業製)

提案手法 データ取得の工夫



- ✓ 黒いテープによって巡回コースを作成し、スマートデバイスを搭載したロボットカーを走行させ、巡回行動中の時系列RSSIデータを取得する

提案手法 データの取得

• 取得するデータの例

- Time: タイムスタンプ、毎秒ごとに記録される。
- ビーコン番号: RSSIデータがビーコンの個体ごとに記録される。受信していない時間は空白値となる。
- 解答位置: ロボットの周回ラップタイムから割り出した目的変数となるエリア番号。

Time	ビーコン番号							解答位置	
	1	2	3	4	5	6		m
20170720194859	-77	-77	-73	-80	-89	-91		-93	1
20170720194900	-74	-75	-74	-82	-89	-76		-95	1
....									
20170720194911	-79	-63	-73	-76	-85	-77		-91	2
20170720194912	-81	-77	-76	-84	-82	-72		-86	2
20170720194913		-69	-75		-83	-84		-88	2
....									
20170720194925			-85	-88	-86	-83		-71	3
20170720194926		-85	-76	-80	-83	-85		-72	3

※RSSI値は負の値で推移し、ゼロに近いほど強い受信電波であることを示す

提案手法 決定木の説明変数

✓ 以下の分類問題を
決定木モデルで推定

目的変数

解答位置

説明変数

各一般型ビーコンのRSSIデータ

各近接型ビーコンのRSSIデータ

近接型ビーコンのエリア別平均値

近接型ビーコンのエリア別最大値

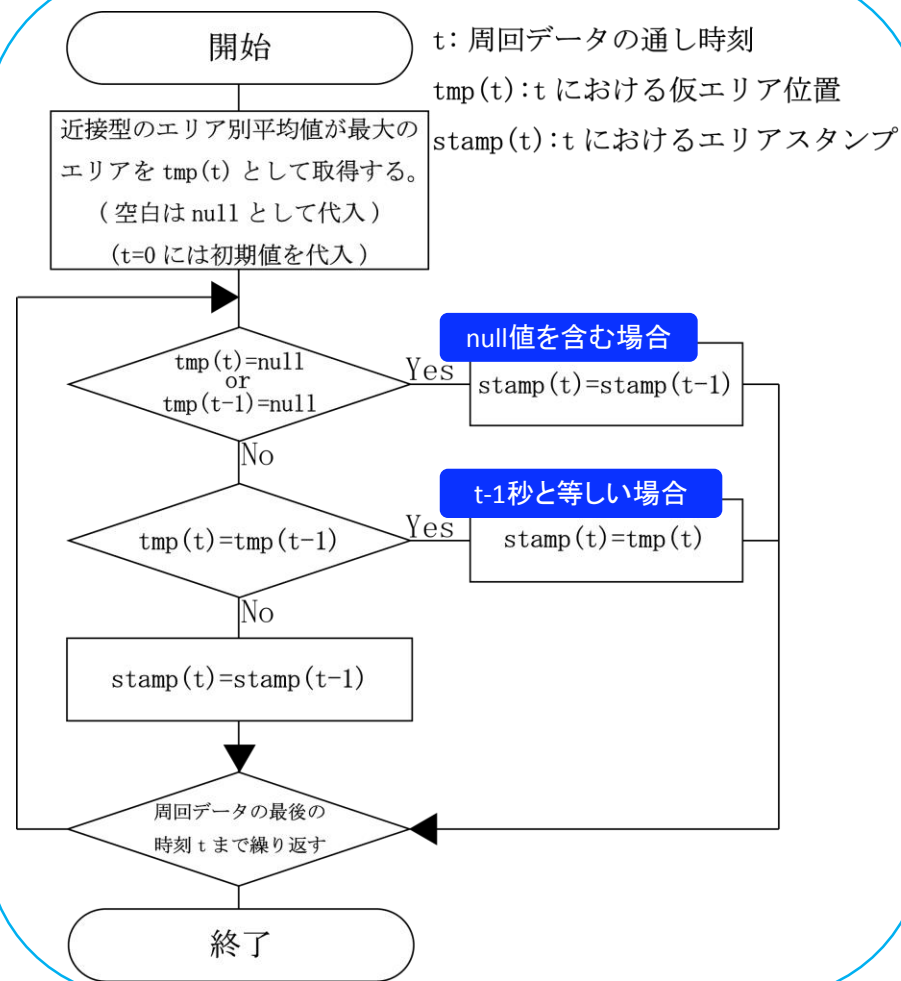
近接型ビーコンによる**エリアスタンプ**

エリアスタンプとは...

受信機が最後に受信した近接型ビーコンの
最大RSSIデータのエリア番号

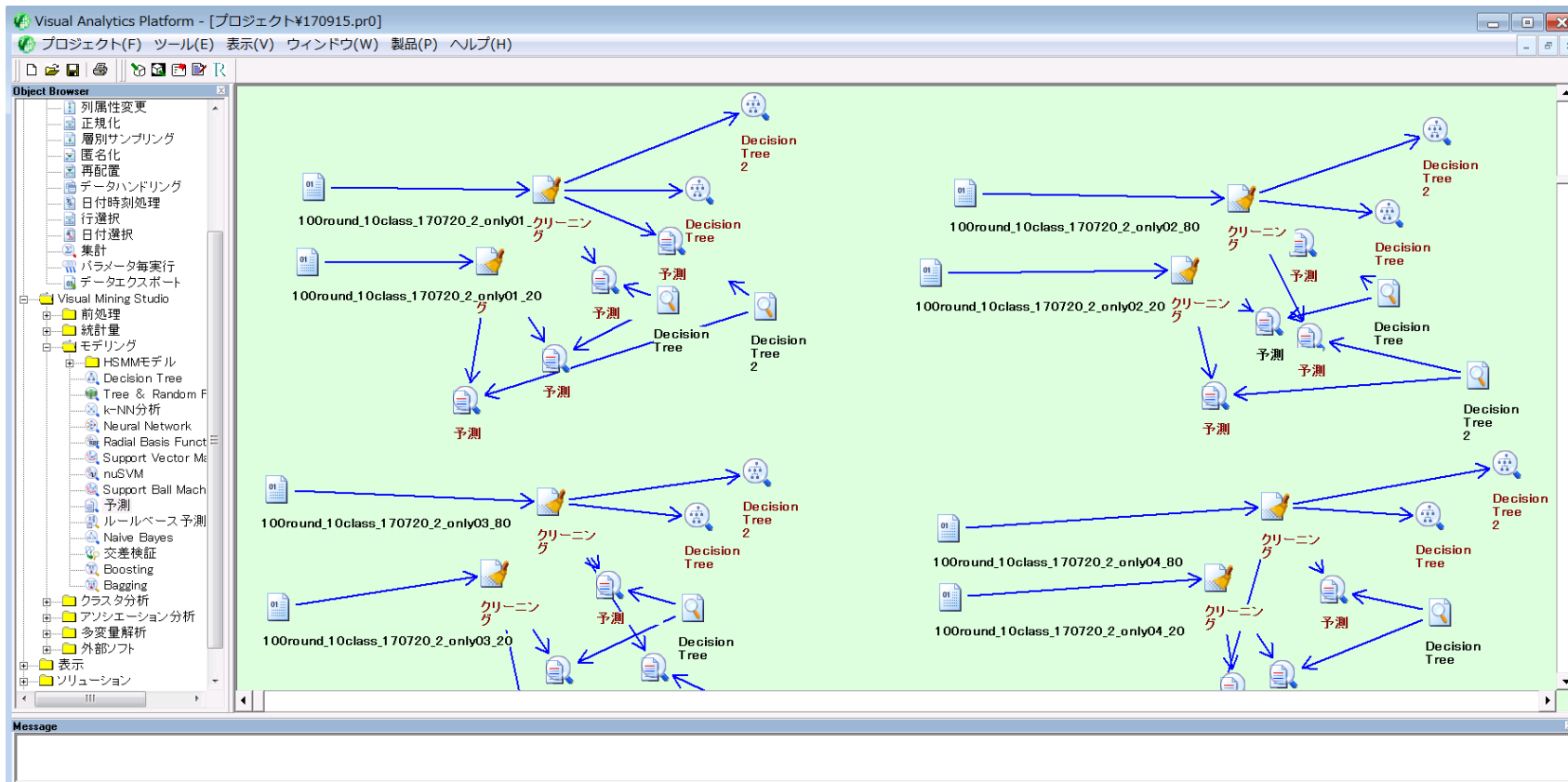
ある時刻 t に対し、 $t-1$ の位置情報を推定に利用することで推定精度を向上する

エリアスタンプ作成のアルゴリズム



提案手法 決定木の作成

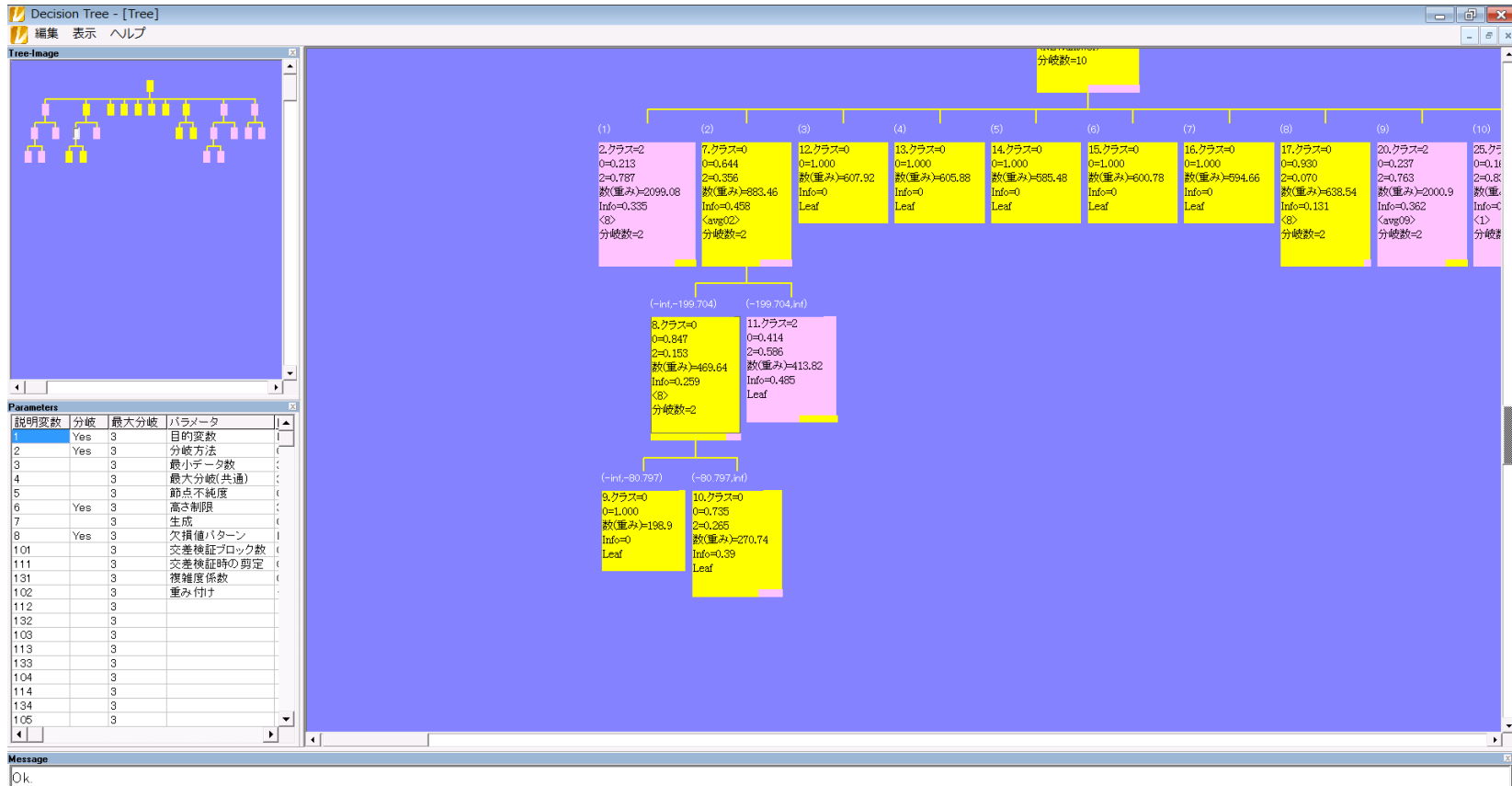
✓ 決定木の作成にはVisual Mining Studioを使用した



◆ データの読み込みから決定木の作成、評価までをシームレスに行うことが可能

提案手法 決定木の作成

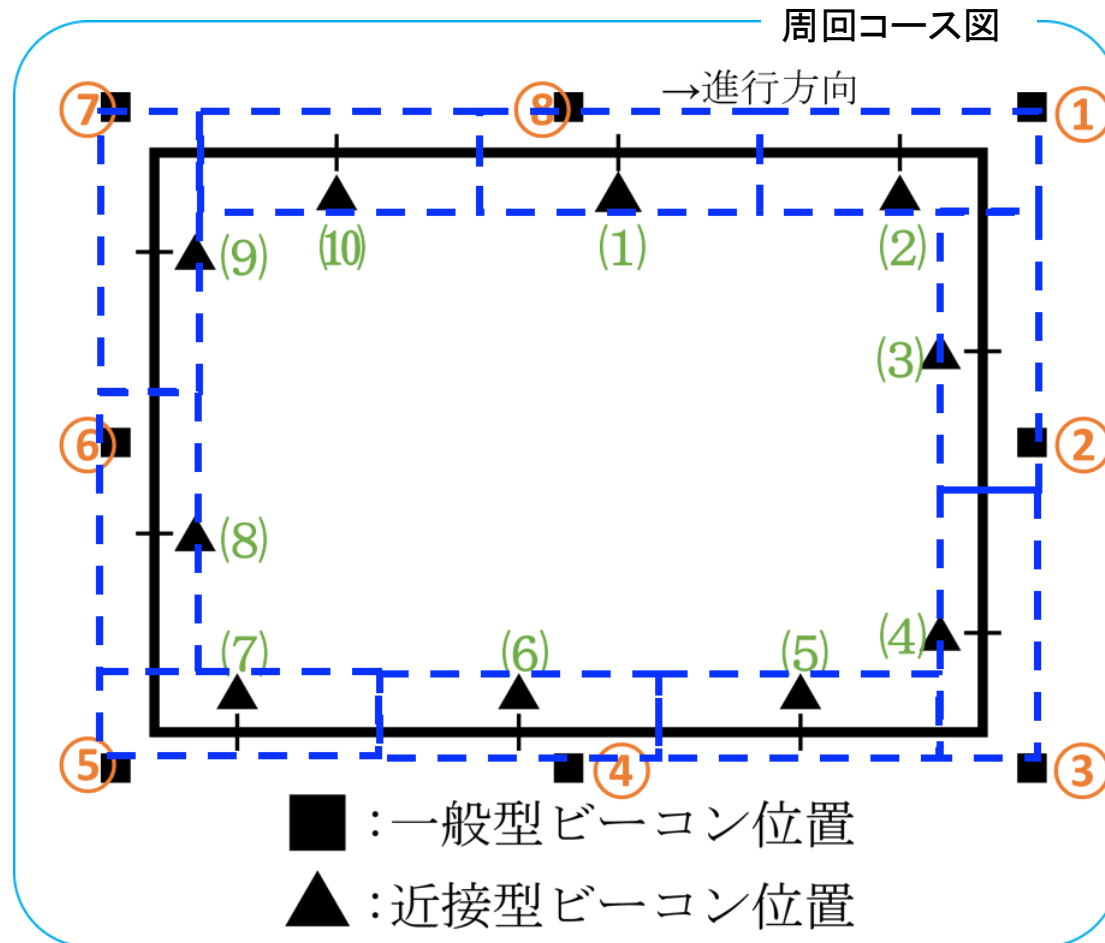
◆ 決定木の詳細な設定も直感的に行うことができる



✓ 位置を推定するためのルールを解釈し、アルゴリズムの向上につなげる

実証実験 概要

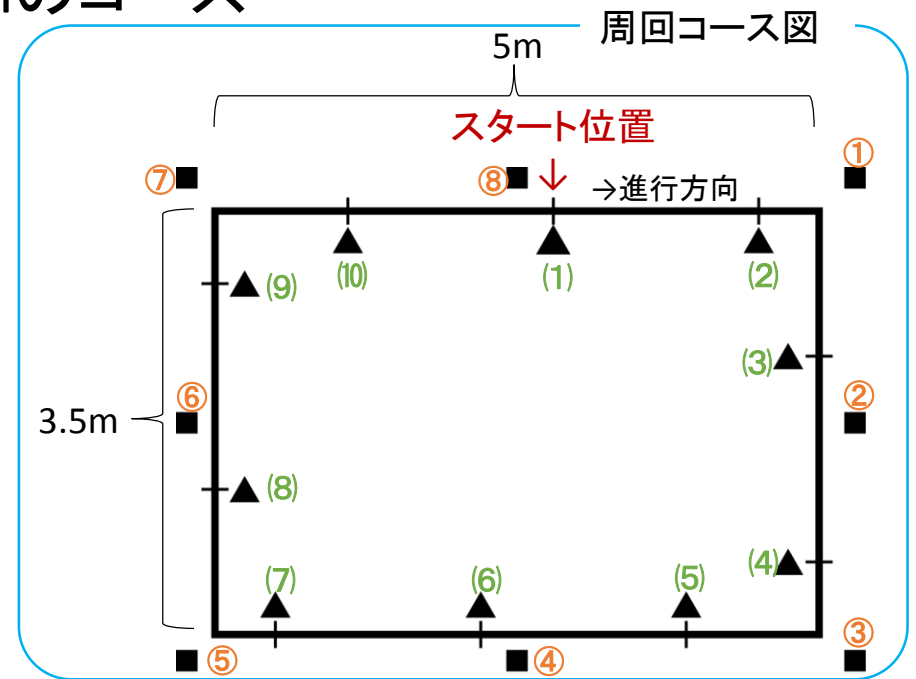
✓ 黒線上を周回するコースを作成し、10のエリアに分割する



実証実験 概要

- 3.5 × 5mの2次元空間に周囲17mのコース
- 100周分のデータを取得

周回データ ラップタイム	
平均	99.2
標準偏差	2.91
最大値	102
最小値	88 (秒)




- 每周99秒で巡回していると仮定し、以下のように解答位置を設定する

経過秒数	1~5	6~15	16~25	26~35	36~45	46~55	56~65	66~75	76~85	86~95	96~99
解答位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1

実証実験 概要

- 目的変数である解答位置は10クラスから1つずつ抽出し、正例と負例の2クラス問題として10の分類問題を設定

Time	ビーコン番号			解答位置
	1	...	m	
20170720194859	-77		-53	1
20170720194900	-74		-55	1
20170720194901	-74		-61	1
20170720194902			-76	2
20170720194903			-67	2
20170720194904				2
20170720194905			-71	3
20170720194906	-77			3
20170720194907				3
20170720194908	-72		-75	4
20170720194909	-56		-77	4
20170720194910	-53		-80	4
20170720194911	-62		-80	5



分類問題 01	分類問題 02
解答位置	解答位置
1	0
1	0
1	0
0	2
0	2
0	2
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0
0	0

※クラス間バランス調整のために重み付けを行う

- 時系列データのうち、前8割を学習用データ、後2割を検証用データとして決定木を作成



実験結果

- 学習用と検証用データの検証結果の概要

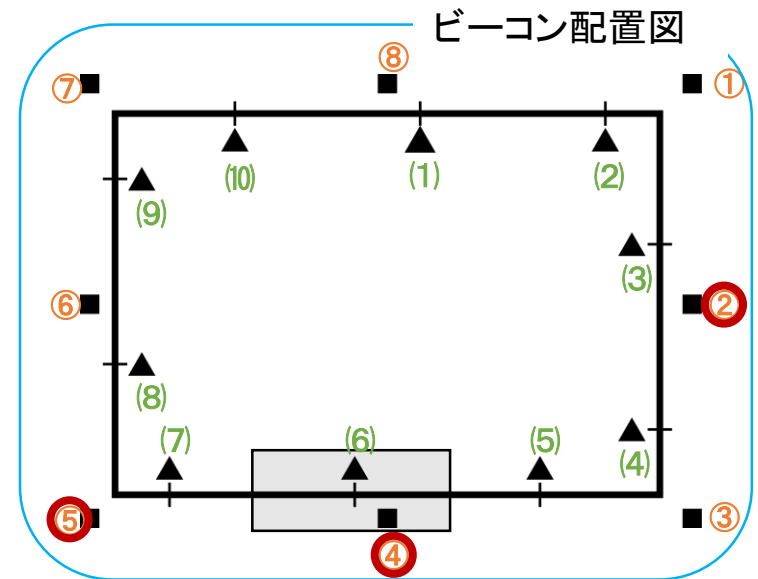
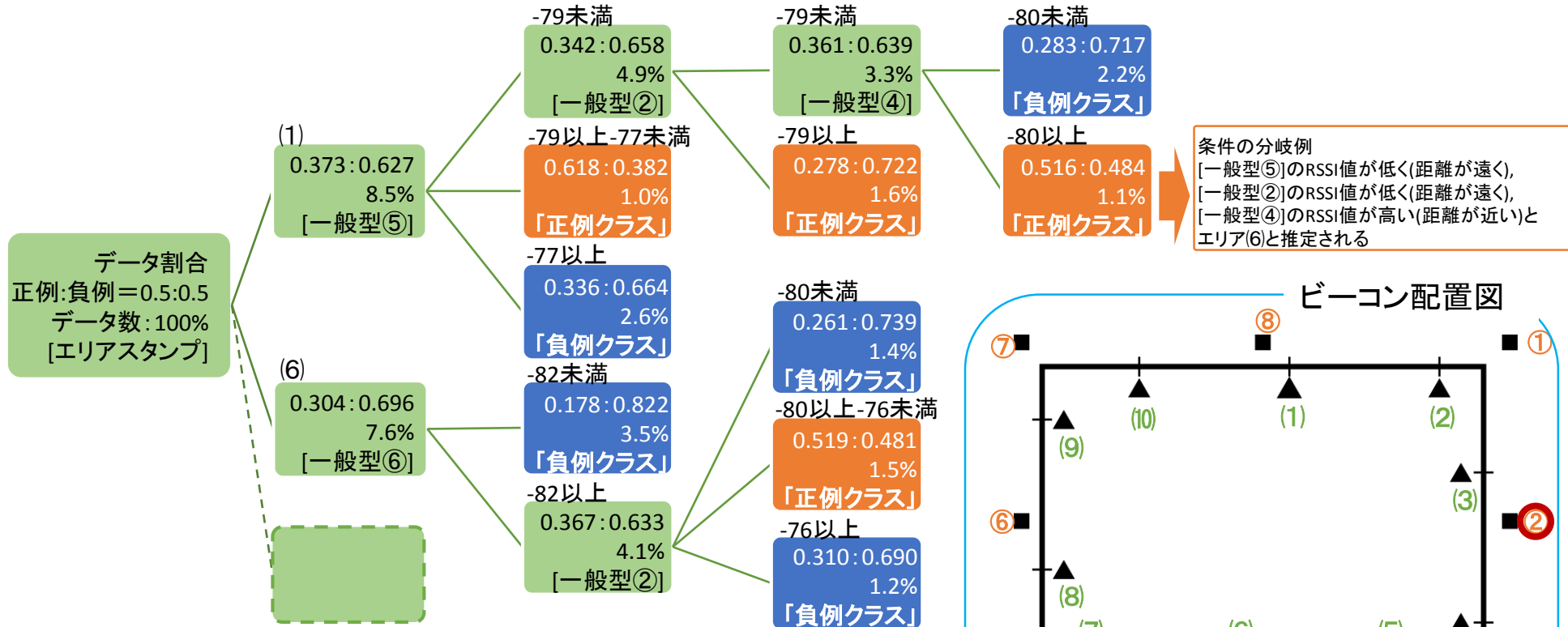
学習用データ				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値
正答率	0.648	0.024	0.704	0.608
精度	0.181	0.008	0.199	0.172
再現率	0.712	0.027	0.756	0.640
F1値	0.288	0.007	0.304	0.278

検証用データ				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値
正答率	0.599	0.025	0.650	0.566
精度	0.119	0.009	0.129	0.104
再現率	0.471	0.047	0.560	0.420
F1値	0.190	0.015	0.209	0.167

✓ 検証用データで全て正例と予測した時のF1値は0.182であり、その数値よりは改善出来ていることを示している

実験結果

エリア(6)の分類問題の決定木の一部



- ✓ 第一分岐条件は「エリアスタンプ」でありその下で一般型のRSSI値によって分岐
- 近接型と一般型の併用がうまく作用している

実験結果

- 学習用と検証用データの検証結果の詳細

学習用データ

分類問題	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
正答率	0.6629	0.6340	0.6379	0.6302	0.7039	0.6083	0.6475	0.6455	0.6524	0.6566
精度	0.1724	0.1766	0.1783	0.1765	0.1993	0.1723	0.1828	0.1825	0.1837	0.1857
再現率	0.7125	0.7163	0.7163	0.7263	0.6400	0.7563	0.7175	0.7213	0.7088	0.7088
F1値	0.2776	0.2833	0.2855	0.2840	0.3039	0.2806	0.2914	0.2913	0.2917	0.2942

検証用データ

分類問題	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
正答率	0.6217	0.5970	0.5657	0.5707	0.6500	0.5717	0.5949	0.5934	0.6141	0.6152
精度	0.1242	0.1263	0.1071	0.1037	0.1282	0.1284	0.1091	0.1223	0.1148	0.1293
再現率	0.5222	0.5050	0.4500	0.4250	0.4250	0.5600	0.4200	0.4900	0.4200	0.4900
F1値	0.2006	0.2020	0.1731	0.1667	0.1970	0.2090	0.1732	0.1958	0.1803	0.2046

...全て正例と予測した場合のF1値(0.1818)以上

- ✓半数以上の分類問題でF1値が基準値以上の結果を得られた
- ✓しかし、位置推定として活用するには全体的に正答率が低い

考察 解答位置の誤差による影響

- 今回は平均ラップタイムで周回していると仮定したが、実際は1周ごとに差があり解答位置の誤差となっている可能性が考えられる

周回データラップタイム (秒)	
平均	99.2
標準偏差	2.91
最大値	102
最小値	88

14秒の差

学習用データ

各週のラップタイムの平均値より解答位置を作成した場合				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値
F1値	0.288	0.007	0.304	0.278

検証用データ

各週のラップタイムの平均値より解答位置を作成した場合				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値
F1値	0.190	0.015	0.209	0.167

各周ごとのラップタイムより解答位置を作成した場合				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値
F1値	0.382	0.008	0.393	0.368

各周ごとのラップタイムより解答位置を作成した場合				
	平均値	標準偏差	最大値	最小値
F1値	0.202	0.052	0.258	0.132

※各周ごとのラップタイムより解答位置を作成したほうが精度が高くなるが、技術的な問題として毎週正確に記録することが難しい

誤差の原因として、

- ロボットが完全な一定速度で走行していない
- 解答位置の作成方法が不十分である ことが挙げられる。

考察 ビーコン配置の工夫

○近接型の3つ配置により安定性は向上した

○決定木の分岐条件より、一般型と通常型の併用は効果的である

× 近接型のRSSIデータを受信できない時間帯が発生している

Time	近接型ビーコンエリア別平均値				解答位置
	4	5	
20170720204231		-82			4
20170720204232		-76			4
20170720204233		-84			4
20170720204234					4
20170720204235					5
20170720204236					5
20170720204237			-86		5
20170720204238			-83		5

近接型ビーコンの電波を受信できていない区間

✓理論上は近接型の電波を途切れなく受信できるような配置を設計しているが、エリアの境界などで電波を受信できていない現象が存在する

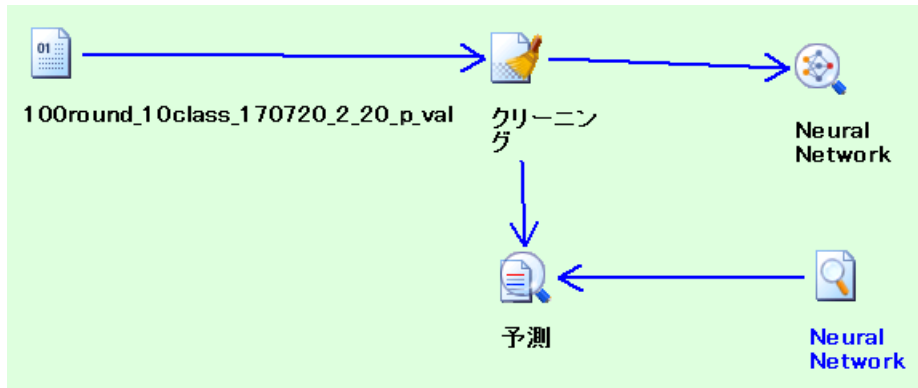
✓しかし、多数配置するとコストや干渉の問題も起こるため、バランスの調整が必要である

考察 アンサンブルアルゴリズムの適用可能性

- 決定木による10の分類問題から各エリアの推定確率を算出。

Time	各エリアの推定確率										解答位置
	p_val_1	p_val_2	p_val_3	p_val_4	p_val_5	p_val_6	p_val_7	p_val_8	p_val_9	p_val_10	
20170720220059	0.575	0.347	0.4	0.344	0.578	0.524	0.67	0	0.45	0.432	1
20170720220100	0.739	0.704	0.465	0.298	0.533	0.284	0.114	0.333	0.265	0.502	1
20170720220101	0.737	0.765	0.411	0	0.603	0.26	0.113	0.304	0.175	0.432	1
20170720220102	0.431	0.712	0.616	0.512	0.434	0.497	0.489	0.469	0.398	0.341	1
20170720220103	0.79	0.711	0.675	0.456	0.304	0.497	0.696	0.469	0.51	0.461	1
20170720220104	0.79	0.684	0.661	0.512	0.494	0.692	0.182	0.328	0.246	0.082	2
20170720220105	0.737	0.684	0.616	0.512	0	0.291	0.365	0.232	0	0.104	2
....											

- 推定確率を説明変数とし、VMStudioのNeural Networkを用いて20周分の検証用データに対して移動軌跡の推定を行った。



考察 アンサンブルアルゴリズムの適用可能性

- 各周回ごとに推定位置の正解率を算出したものが以下である。

周回	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
正解率(%)	6.06	16.16	20.20	37.37	26.26	37.37	40.40	29.29	43.43	46.46

周回	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
正解率(%)	43.43	45.45	44.44	37.37	36.36	42.42	23.23	20.20	20.20	12.12

- 周回によって正解率に差が生じているのは、先述した目的変数となる解答位置の誤差の影響だと思われる。
→正答率が比較的高い9~13周目は解答位置の誤差の影響が小さいと考えることができる。

考察 アンサンブルアルゴリズムの適用可能性

- 検証用データ20周分のうち、アンサンブルアルゴリズムによる9～13周目のみの検証結果が右の表である。
(左表は提案手法の検証結果)

決定木による 推定結果	
	平均値
正答率	0.599
精度	0.119
再現率	0.471
F1値	0.190

アンサンブルアルゴリズムによる 推定結果	
	平均値
正答率	0.889
精度	0.419
再現率	0.395
F1値	0.407

- ✓ 正確な解答位置のデータが取れているであろう周回に対して、アンサンブルアルゴリズムによる推定の可能性が考えられる。

まとめ

- ✓ BLEビーコンによる屋内の巡回移動軌跡推定を行う手法を提案
 - ✓ 2種類のビーコンの併用や配置位置に工夫を行った
 - ✓ プログラミングロボットを用いて大量にデータを取得
 - ✓ 検証データで位置推定の精度の確認を行った
-

今後の課題

- 分類問題の目的変数となる解答位置を正確に作成することが提案手法の精度の確認に必要である。
- ビーコンの配置を工夫することで、RSSIデータの受信率を向上させ、分類問題の説明要因を増強する。
- アンサンブルアルゴリズムによる巡回行動軌跡の推定可能性を探る。



最終的な研究目標

- ✓ 正確な巡回行動データを取る手法を確立し、実店舗で顧客の巡回行動ログを取得
- ✓ 購買履歴データと巡回行動ログを併せて分析し、より有益な消費者購買行動分析を行う

参考文献

1. 藤野俊樹, 北澤正樹, 山田隆志, 高橋雅和, 山本学, 吉川厚, 寺野隆雄, "スーパーマーケットで客はどう動く?-顧客動線分析とエージェントシミュレーションからわかること-", 第5回社会システム部会研究会資料, Vol. 5, pp.57-68.(2014)
2. 日経BP社, "日経ビジネス2017年07月31日号", pp.26-29.
3. 財団法人ニューメディア開発協会, "屋内測位普及発展に関する調査研究報告書"(2009)
4. 古館達也, 豊瀬冬実, 堀川三好, 菅原光政, "受信電波強度を用いた位置測定手法の提案", 情報処理学会第76回全国大会講演論文集, 2014/03, pp.207-208.
5. 酒井瑞樹, 森田裕之, "Bluetoothを用いた屋内位置推定手法の提案", 経営情報学会全国研究発表大会要旨集2016, pp.53-56.
6. 株式会社アプリクス
<http://business.aplix.co.jp/beacon/refinfo/refinfo0202.html> 参照(2017/08/23)