

# ユビキタス環境向き重ね合わせ状態モデリング

## Superposition state modeling in Ubiquitous environment

坂本 純一<sup>\*1</sup> 三浦 浩一<sup>\*1</sup> 松田 憲幸<sup>\*1</sup> 瀧 寛和<sup>\*1</sup> 安部 憲広<sup>\*2</sup> 堀 聡<sup>\*3</sup>  
 Junichi Sakamoto Hirokazu Miura Noriyuki Matsuda Hirokazu Taki Norihiro Abe Satoshi Hori

<sup>\*1</sup> 和歌山大学システム工学研究科 <sup>\*2</sup> 九州工業大学情報工学部 <sup>\*3</sup> ものつくり大学

<sup>\*1</sup>Graduate school of Systems Engineering, Wakayama University

<sup>\*2</sup>Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology

<sup>\*3</sup>Institute of Technologists

Abstract: Sensor Network is an important application field of Ubiquitous Computing. It senses the wide area environment using various kinds of sensors. However, it is very difficult to cover whole area using limited number of sensors. Therefore, we can't know all information of the target environment. About the problem of lack of information, we suggest to apply a part of superposition principle. The superposed state and the degenerate state by an observation make a deduction to ambiguous information of the environment.

### 1. はじめに

現在、研究や開発が盛んであるものにユビキタス・コンピューティングがある。その研究分野の1つとして、対象領域の環境情報を複数のセンサを使用することにより取得するセンサネットワークがある。また、センサネットワークで情報収集可能な環境をセンシング環境と呼び、一般に屋内などの小規模な領域が観測対象となっていた。

本稿では従来のセンシング環境より広域な環境をユビキタス・センシング環境とする。この環境が構築できれば、環境把握の応用範囲は広いと考えられる。例として、誰が、いつ、どこにいるのか、または移動手段は何を利用しているのかを記録できるとする。すると、個人の移動経路が把握できるようになり、犯罪者やテロリストの逃走経路予測が可能となる。このように、ユビキタス・センシング環境には新しいサービスを提供する可能性を秘めている。

ユビキタス・センシング環境の実現には領域すべてをセンサ群で覆い、観測可能であることが望ましい。しかし、領域を覆うのにセンサの数が十分でない場合や、センサの故障、通信状態の劣化などのために、非観測領域が存在してしまい、対象領域全体の状態を把握できない。このように、センサ群が取得できない情報に対して存在可能な状態を表現するための新しい概念の創出、およびそれを基にしたモデリング技術が必要となる。このモデリング技術においては、観測結果を全て含み、不必要な状態を含まない状態表現が重要な技術課題となる。

本稿では概念として、非観測領域で起こりうる状態すべてを1つにまとめ、センサ群の観測値などにより、まとめ上げられた状態を縮退する、重ね合わせ状態の概念を提案する。

第2章では重ね合わせの概念の説明を行い、前提となる条件や他の手法との違いを説明する。第3章では適用した事象を述べ、第4章に実験とし、第5章で実験に対する考察を行った。最後に6章で本稿のまとめとする。

### 2. 状態の重ね合わせ

精度の高い情報が必要ときや、1つの解を求めるならば、統計学に基づいた計算が有効であるが、統計学では環境の十

分なデータがあることが前提となる。しかしながら、問題で述べたように非観測領域の存在により環境から得られる情報が少ないため、それとは異なるアプローチが必要となる。そこで、まず量子力学の重ね合わせの原理を述べた後、センサネットワークにおいて適用する部分を紹介する。

#### 2.1 重ね合わせの原理 (superposition principle)

重ね合わせの原理とは

状態  $|a\rangle$  と状態  $|b\rangle$  が可能な状態であれば  $c|a\rangle + d|b\rangle$  を複素数として、その重ね合わせ  $|c|a\rangle + d|b\rangle$  も可能な状態である

と定義されている[1]。この原理のうち、本稿では複数の状態を足し合わせた結果も状態であるという点を参考にする。重ね合わせた状態が可能な状態かどうかは対象が素粒子のミクロな環境からマクロな環境に移り変わるため、そのまま適用できない。よって、次の節に考慮に入れるべき点を述べる。

#### 2.2 センサネットワークでの重ね合わせ

センサネットワークにおいて状態を重ね合わせるにしても対象物のあらゆる状態を重ね合わせるわけではない。センサネットワークにより解決する命題があり、その命題解決に関係する複数の状態が重ね合わせるべき状態である。

次に、関係する状態全てを起こりうる状態とし、重ね合わせ状態は存在可能な状態であると仮定する。それら命題解決に関係した状態全てを列挙し、加え合わせた集合を重ねあわせ状態とする。

また、状態それぞれに関しても連続的な状態と離散的な状態があり、それぞれ重ねあわせ状態を表現するためには異なる方法を取る。

離散的な状態の例として、生物の生死がある。生と死には半分死んでいて半分生きている状態はありえず、状態を生と死の2状態に切り分けられる。そして、重ねあわせ状態を記号  $\{ \}$  で表現すると  $\{ \text{生}, \text{死} \}$  と記号で表現できる。

連続的な状態の例では、1章の利用シーンで述べた例のような経路を観測するものがあり、経路それぞれは重複する部分があるため、切り分けることができない。よって、切り分けずに加え合わせたままで状態を表現する。

#### 2.3 仮説集合と観測値による制約

命題解決に関係する状態全てを重ね合わせ状態としているため、実際の行動、または状態と比較して不必要な状態が多く

連絡先: 〒640-8510, 和歌山県和歌山市栄谷 930,  
 和歌山大学システム工学部  
 Tel: 073-457-8122, e-mail: s051026@sys.wakayama-u.ac.jp

含まれることになる。そこで、仮説推論[2]における知識の追加によって仮説集合をその都度変更するような仕組みを考える。そのために、センサ群からの観測値を用いる。観測値と重ねあわせ状態を比較し、重ねあわせの状態の中から矛盾する状態を含む集合があればそれを排除し、重ねあわせ状態を再構成する。従来の仮説集合は、離散的な集合を扱っているが、重ねあわせ状態は、連続値の集合も扱えるものとする。

### 3. 経路予測

センサネットワークの適用事象として2地点間の経路予測に利用できるモデリング実験について説明する。

仮定として、対象領域内において個人を認識することができ、同時に時間と場所を保存することができる機能を持つセンサ群を配置するものとする。ここで、はじめに述べたように、センサ群は対象領域すべてを観測することができないため、個人の対象領域内における移動経路を完全に把握することができないものとする。

把握できない部分の経路を重ねあわせによって表現するには考えられる経路すべてを列挙し、それらを集合として扱わなければならない。経路は連続的だから状態を記号で表現することはできないので異なる方法をとる。まず、経路を計算機で扱えるようにするために対象領域を碁盤目状に分割する。そしてマス目に対してセンサの反応領域かどうかの属性と座標を指定する。仮定としてマス目を移動する速度は一定であるものと考え、1マス進むのにかかる時間を単位時間とする。そして、移動方向は自身のいる座標から8方向に移動できるとする。

次に、対象者が観測領域から非観測領域に移った時点で、重ねあわせ経路の生成を開始する。表現方法として、単位時間が経過するごとにノードを座標、アークを移動方向とする木構造で表現する。このことによって、取りうる経路全てを列挙できる。単位時間がたつごとに木構造の枝を増やして、重ねあわせ経路を拡大してゆく。状態を  $|e\rangle$ 、各マスを  $i$  と各状態を  $|e(i)\rangle$ 、 $(i)$  を複素数とすると、重ねあわせは、 $(i) |e(i)\rangle$  となる。

ある時点で再び観測が発生したなら、その場所、時刻と矛盾が発生する経路が重ねあわせ経路には存在するのでその経路を排除して、再構成を行う。具体的には、生成した木構造から、再び観測を行った場所の座標を表すノードに到達しないノード、およびアークを削除する。

以上の木構造による経路集合の生成と再構成の仕組みを、最も簡単な2地点間の移動を対象にしてシステムとして実装した。次章にシステムの実験とその結果を述べる。

### 4. 実験

実際に、ある2地点間を被験者が移動して、移動経路を記録する。このとき、経路の他に移動にかかった時間と出発地点と到達地点の座標も記録しておく。記録したデータのうち、時間と場所をシステムが利用し、移動経路はシステムの評価基準として用いる。

手順としては、記録した座標と時間を元にシステムが重ねあわせ経路を生成する。それと実際の移動経路とを比較して、重ねあわせ経路の中に実際の経路が含まれているかどうかを判定する。そして、観測結果を全て含み、不必要な状態を含まない表現ができているかを検証する。

実験回数は被験者6人に各3回の合計18回行った。そのうち、正しく予想できたのが61%の11回、予想が外れたのが39%の7回となった。

### 5. 考察

実験データのうち、約4割が予測できなかった理由を調べるために、図1に縦軸を時間、横軸を移動距離として、データをプロットした。

次に、最も移動距離が短いデータ、つまり2地点間を直線で移動したデータをもとに直線を引いた。この直線付近にデータがあれば、3章で移動速度は一定であると仮定した事柄が真となる。しかし、結果は図1に示されているように全てのデータが直線状にあるわけではなく、図1の楕円内のような速度が変化しているデータが出て、仮定が偽となった。

これは、式  $(i) |e(i)\rangle$  のうち  $i$  の値域が  $i=0 \sim N$  ではなく、 $i=0 \sim N$  の有限個とした上で、 $N$  の値が小さすぎたため、速度にばらつきが出たと思われる。

仮定が偽となってしまったため、重ねあわせ経路と実際の経路集合が一致せず、結果として予測が完全とはならなかった。この結果に対する解決法としては、移動速度を重ねあわせで表現する方法が考えられる。そうすれば、様々な速度に対して対応している重ねあわせ経路を生成することができ、実験データ全てと一致させることができる。

しかし、そうすると実際に移動した経路集合と比べて通らない経路群が多数存在することになり、課題を満足しないことになる。このように、重ねあわせによって状態全てを取り入れるか、それとも仮説の導入によって不必要な状態の排除を行うか、という関係が成り立つ。この関係において、最もよいバランスを取るところを探すのが今後の課題となる。

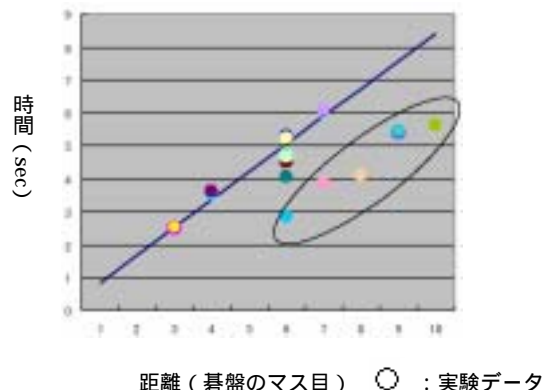


図1 実験結果

### 6. まとめ

本稿では観測できないセンサ情報に対して重ねあわせの原理の考えを参考にし、状態を仮説集合として列挙した。列挙された仮説集合を重ねあわせ状態と呼び、観測を仮説に対する制約と捕らえ、重ねあわせ状態内に含まれる矛盾状態を取り除くことにより、状態を推定する手法を提案した。

実装として2地点間の経路予測を行い、重ねあわせる際の困難さを把握した。

### 参考文献

- [1] 細谷 暁夫: “量子コンピュータの基礎”, サイエンス社, 1999.12.25 初版
- [2] 越野 亮, 林 貴宏, 木村 春彦, 広瀬 貞樹: “述語論理知識を扱う全探索仮説推論の高速化”, 人工知能学会論文誌, Vol. 16, No. 2, pp.202-211 (2001).