

訪問日 2015 年 10 月 7 日

宇都宮大学 大学院工学研究科機械知能工学専攻 星野 智史 准教授

研究題名：侵入者の存在確率と情報エントロピーに基づきロボットが巡視する防犯・警備システム

宇都宮大学・星野智史先生を訪ねて

一般向けと学生向け用の研究室（分散知能システム工学研究室）紹介資料と学会発表資料を事前にご用意いただき、プロジェクトで具体的にご説明いただきました。助成研究の内容は、人間のよう
に思考して対象者を見つける知的警備ロボットです。訪問前日までドイツの国際学会でこの研究を
発表され、米国の警備ロボットの会社から興味を示されたとのこと。知的警備ロボットによる侵入者
巡視の方法論とベイズの定理に基づいた新たな巡視方法です。当日はこの2つの研究発表内容について
詳細に説明いただきましたが、紙面の都合上、理解不足のこともあり、研究のアプローチの方法を中心に
記させていただきます。

研究のポイントはベイズ学習を使うことのように、ベイズ学習とはベイズ統計、ベイズの定理に基づき、
何か情報を得て統計的に処理し、次に何が起こりそうか推定する学問です。なぜ学習が付いているのか
が重要です。分かりやすい例に挙げられたのは、家族で百貨店で別々に買い物をし、携帯電話もなければ、
どうやって相手を見けるかですが、きっと家族の趣味などの情報をベースに行き場所を推論し、見つ
からなければ違う情報で推論し行動します。この人間の思考がベイズ学習に類似しており、それを警備
ロボットに使えるかと考えたそうです。相手のことを何も知らなければ、色々な所を無作為に探しに行き、
本屋にいれば、この人は本屋が好きかも知れないと学習します。やってみて何か新たな情報を得ること
によって学習して、次にどこにいるのか当てにいくのがベイズ学習です。現状の警備ロボットは経路は
予め設計されているのが普通で、どこを廻るのかは決まっています。つまり侵入者に関する情報は活
用しません。ここに侵入者がよく出るよという情報が先に分かっていたら、それに基づいて例えば経
路とかチェックポイントなどを設定できます。経路、見る場所を予め決めてしまうのではなく、侵入
者の傾向に応じた巡視が必要で、その為には侵入者の傾向を学習する必要があり、如何にして
侵入者の傾向を学習するかがキーになります。

ベイズ統計の優れた所は確率を点でなく確率分布を扱っていることです。確率密度関数（PDF）
とそれを積分した累積密度関数（CDF）の利用です。そうすれば確率の低い部屋であってもロボ
ットが全く行かなくなるということはありません。ロボットはデータとして累積密度関数を持
っており、そのデータに基づき行く部屋を決め行きます。そこで侵入者がいればその結果に
基づき今度はベイズ確率の更新を行い、その結果に応じてこの分布が更新されます。分布の
期待値からその部屋の侵入確率を見積もって、見に行く見に行かないという意思決定を
行い、これを繰り返します。一応、最初はロボットは何の情報も持っていないとし、どの
部屋の確率分布も0.5に統一します。いる・いないは二律背反の事象であるから、
ベイズ統計で言う2項分布とベータ分布で表現できます。ベイズの更新式は尤度関数と
更新前の事前の確率分布（PDF）を掛け合わせたものです。ロボットが今持っているのは
事前のPDFでベータ分布になります。尤度関数と事前のPDFの関係は自然共役と呼ばれ、
掛け合わせたものもベータ分布となり、事後分布となります。事後分布がベータ分布の
形になるので、この事後分布を再度、次の事前分布として入れることができます。これ
を繰り返していくと徐々に正解に近づいていきます。これがベイズのやり方です。

確率分布を使ってロボットにその部屋に行く／行かないの意思決定させる3つの戦略を考えた
ことです。戦略1はトンプソンサンプリングで、多腕バンディット問題というベンチマーク
問題があります。N台

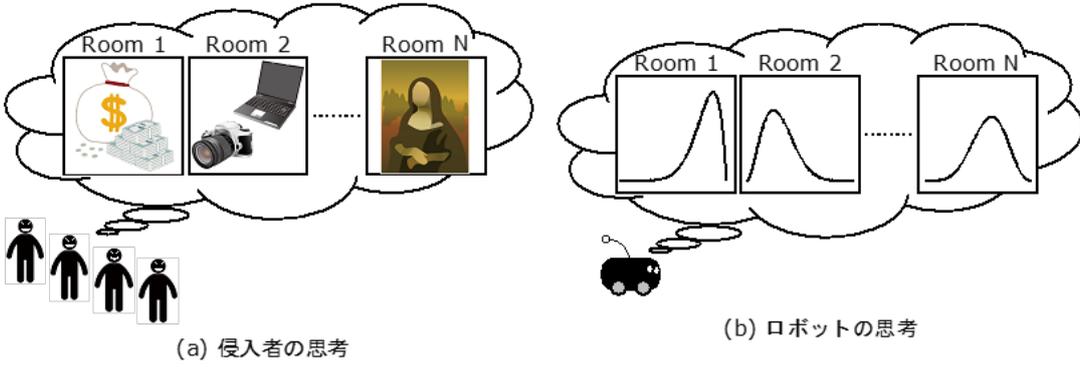
のロットマシンがあり、どうしたら短時間で当たり確率の高いマシンを見つけることができるかという問題です。トンプソンサンプリングというのは古いアルゴリズムですが、ベイズ学習に基づいたトンプソンサンプリングがこの問題の解決に最適であることが証明されているようです。多腕バンディット問題を適用すると一番確率の高い部屋だけ行けばよいことになります。戦略2は確率分布に応じて意思決定をしますので複数の部屋に行きます。戦略3はその2つの戦略を組み合わせ、確率の高い部屋は必ず行き、後の部屋は確率に応じて意思決定するものです。ロボットは巡視を通じて、どの部屋にどれだけ侵入者がいるかを学習することができるのか、動画も混じえて聞くことができました。ベイズを使うことでどれだけ学習できて、学習した結果が侵入者の検知にどれだけ繋がるのかを研究するのが先生の意図のようです。

次に2つ目の「不特定進入者に対するロボットの確率論的巡視アプローチの提案」です。前述の研究はどこを（場所）廻るのかの研究ですが、この研究はどこを（場所）、どれだけ（時間）、どうやって（経路）見て廻るかの巡視問題と呼ぶ研究です。今度は部屋ではなく環境に拡大し、それをセルに分割します。「どれだけ」の意味は、見に行きその一瞬で判断するのではなく、進入者の出現頻度を指標に、いそうな場所であれば一定時間待ち伏せするものです。「どうやって」は、先の研究では行き方は考慮していませんが、ロボットが目的の場所に直線距離で行くのではなく、途中で確率の高い所があればそこを廻って行くという考えです。セルに進入者の存在確率（ θ ）と出現頻度という2つの指標を定義します。これを同様にベイズで更新し最終的に期待値をとり推定します。具体的な巡視戦略ですが、「どこを」に関しては、全く先と同じで存在確率の最大の所を目的地とします。「どれだけ」はどれだけ見続ければよいか、いなければ出現頻度はどんどん下がりますので、値が他のセルより低くなった時点で監視を終わります。「どうやって」は、距離（ユークリッド距離）と存在確率を加味して経路を決めます。この結果でも提案手法の有効性を実証されました。尚、こちらの研究では環境内に存在する全ての人間を巡視対象者とするため、「侵入者」ではなく「進入者」という言葉を用いたそうです。

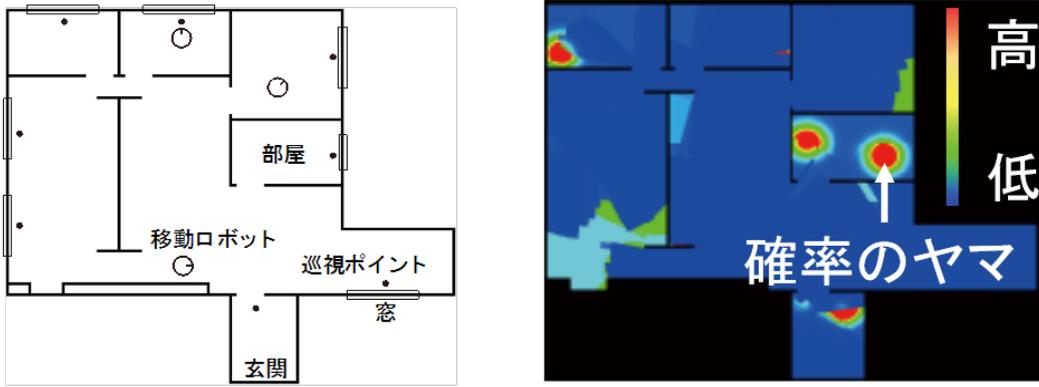
私にとり専門外の研究ですが、身近かなニーズでもあり感覚的に理解しやすく、早い実装が期待されます。（2015年10月7日訪問、技術参与・飯塚）



右から2人目が星野先生



ロボットによる巡視の概略図



侵入者の存在確率と情報エントロピーに基づきロボットが巡視する防犯・警備システム