

[第16回全国大会・研究発表大会 基調講演]

自動運転車のための協調運転・遠隔運転の研究の取組の紹介

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科 教授

大前 学 氏

この記事は、情報システム学会第16回全国大会・研究発表大会（2020年12月5日）における基調講演の口述内容をまとめたものです。

■はじめに

慶應義塾大学政策・メディア研究科の大前と申します。本日は「自動運転車のための協調運転・遠隔運転の研究の取組」と題しまして発表させていただきます。大変申し訳ないのですが、先ほど冒頭のところで山口先生のご挨拶を見ていましたら、自動運転の未来と書いてあったのですが、その部分を読み落としておりました。今日のお話はあまり未来ではなくて、むしろ過去ではないかというようなお話になってしまうことをあらかじめご了承ください。特に今、自動運転については色々実用化がされようとして進められています。また特に報道とか技術紹介などでよく出てくるのは自律型の自動運転ですが、今回は変わり種の自動運転として、協調型の自動運転や遠隔操作に関しまして、少しお話をさせていただきたいと思います。ただ、これも主には私自身の過去の取組というものが中心になってしまいますことをご了承下さい。そしてまた、動画が多くて、Zoomの方でどのくらいパラパラ漫画のようになってしまうのかわからないのですけれども、どうかそのあたりもご了承下さい。

まず最初に私どもの研究、どのようなことをやっているのか、特に政策メディア研究科と書いてありますので、この人は何なんだろうと思われている方もいらっしゃるかもしれませんが、やっていることは主に機械系です。そこで最近の研究を紹介しまして、そのあと遠隔運転・協調運転の研究紹介、そして考察をしていきたいと思えます。

■最近の研究の紹介

まず、最近の研究の紹介ということで、このようなことをやっていますというところを紹介させていただきます。主に2018年度と書いてありますが、実は昨年、学校の方から留学をいただきまして、タイの方に一年間行って遊んでおりました。そして戻ってきたら、今度はコロナということで、研究をしなくて良い、研究をするなど、僕の解釈ですけれども、学校から言われまして、あまりきちんとやっていないので、少し前の2018年度の紹介が中心となってしまいますことをご了承下さい。

全体を先に俯瞰しますと、2000年に慶應に着任しまして、そのあと自動車の運転支

援、自動運転、あとは少し電気自動車を研究されている清水浩先生という先生と一緒にやっていたので、電気自動車の研究もやっておりました。最近は何をやっているかという、無人移動サービスのひとつであるラストワンマイル型の自動運転、そして遠隔操作、あとはHMI（Human Machine Interface）といったところを少しやっています。主なテーマとしましては、自動運転、隊列走行、遠隔操作というあたりを柱にして、車を使った技術的な研究をやっています。

■ビデオによる研究の紹介

学生が作ったビデオがありまして、それを紹介させていただきます。2018年度のもので、学生に作らせると、自分が苦労したところばかりを動画にしてしまうので、あまり研究室全体を俯瞰したものではないのですが、そこそこできていて、面白いかなと思って出してみました。まず、ラストワンマイルということで、これは地方で実際にゴルフカートベースの自動自動車を使って実施しまして、今も続いています。ちょうど、今年度中に実用化しないといけないということで、今、正に一生懸命やっているところなんです。我々は地上局の担当と言うことで地上局のソフトを作ったりしているところなんです。

次に出てくるのが、藤沢キャンパスでの自動運転ということで、藤沢キャンパスもバスを自動運転化しようとか、いろいろと野心的な話はあるのですが、今のところコロナで進んでいないところでもあります。これは2018年度フォーラムで、校内で自動運転車を回すということをやっていました。

これは共同研究でやっていたものでして、屋内駐車場で自動運転をやっているところなんです。これはまだ屋内を走っていないのですが、けっこう屋内駐車場は当然GPSを取れないのですが、三次元地図も車の入っている状況によって全く異なる形になるので、けっこうやりにくいところがあります。

これは「豪州自動運転 in オーストラリア」、変な日本語ですけども、これはオーストラリアで、後で説明しますが、準天頂衛星を使った自動運転ということでやっていたものです。これはメルボルンの公道を走って、けっこう多くの学生をオーストラリアに連れて行ってやりました。これはもう一度説明させていただきます。

これは音声で自動運転をやるぞということで、自動運転もハンドル、アクセル、ブレーキがなくなったら、あとは何で車とコミュニケーションをするのだというところで、音声を使ってみたらどうかということでやるわけですけども、音声も指示を与えるだけではなく、車側で認識しないといけないという部分もあります。

あと、これはHMIということで、自動運転車みたいなものが走ってきたときに、このように目で見てやると「きちんと検知しているよ」という気持ちになって、歩行者も少し安心するかもしれないというようなことでやっているものです。

これは三輪バイクで自動運転をするということなのですが、アクチュエーターを一切つけずに、後ろの車輪を上手にコントロールすると、前のステアの部分があまり悪さをしないで、言うことをきいて走るという研究とか、機械学習の練習でちょっとやっていたようなものです。

■準天頂衛星を活用した自動運転

主なテーマとして、このように並べていますけれども、自動運転の研究をやっていました。ここには出ていないのですが、いくつかの活動としてピックアップしますと、先ほど申しました、準天頂衛星を活用した自動運転というものがあります。準天頂衛星は日本で打ち上げて、2018年度に商用化が始まりましたが、ちょうどオーストラリアまで飛んでいくのです。なので、オーストラリアでも活用できるだろうということで、経産省のプロジェクトがありました。準天頂衛星は何が面白いかというと、測位精度を上げるための信号を送って来てくれるのですが、それを受信すると、LTEとかそういったもので、わざわざ精度を上げる信号を取らなくても、10センチぐらいの精度で自動運転ができることです。それをオーストラリアでも使えるということを示してこいというプロジェクトでした。そこで実際オーストラリアの公道で、GPSと地図情報だけで走れるかということで4キロのコースでやってみました。外国でやってみて気づいたことは、信号をどうしようかということです。信号はけっこう国によって違うので、日本でチューニングして持っていったところで、多分海外の信号は違うだろうということで、結局信号のないコースを作ってやったわけですが、けっこう日本のものを持ってきてやる場合、標識とか信号、そういうものが違うので、けっこう大変かもしれないと思いました。

■移動ロボット実証実験

次のも少し変わり種の研究なのですが、ZMPという会社が宅配実験をやりたいと

いうことで、お金を申請するので慶應を実施場所にしてくれという依頼がありまして、**慶應側の窓口教員として協力しました。**

一応店舗に発注してそれを受け取るというところをやるということで、本当は、外のローソンから持ってくるというような野心的なものだったのですが、結局このあたりの公道の利用許可が下りなくて、キャンパス内に仮店舗を作って配送するというような実験でした。実際に課金しまして、かなり本格的にやっていたのですが、これも良いビデオがありますので、お見せします。

これはこのように、今、女子学生らしき人が生協で物が買えなかった、一見学生のように見えますが、実は役者です。で、翌日はこれでちゃんと予約をしようという知恵をつけたということで、ここに持ってきてもらう、そのようなものです。実際にこういう形で車に入れて動かすというところで、この写真では隊列走行のように走っているように見えますけれども、実際は一台一台が走って行って、その後ろに二人ぐらいの安全要員がついて歩いているという形で、あまり未来感のない形で運用されていました。実際にこういうものをキャンパスで動かしてみても、結論として、僕自身は何が良かったかというと、こういうものは不要であるということに気づいたことでした。やはり距離が短いと、むしろ歩いていった方が良いということです。逆に長いと、今度はなかなか来なくて、またこれもストレスということになって、こういうものはなかなか運用が難しいなと思います。ただこれでわかった非常に重要なことは、ロボットは可愛いのです。可愛いロボット

はとても良くて、歩いていても蹴飛ばされたりしないということもありまして、このようにフィールドにロボットを出す際に、やはり人間と調和する、しかもこれはよく喋るのです。通る人に「こんにちは」とかいろいろと喋ったりするので、これは非常に重要な示唆だと思いました。このようなことをやっていました。

■自動運転実験車の製作

あと我々がやっているのは、自動車をPCの言いなりにさせるということができて、女子学生が何かハンダを持ってやっていたりしますが、このように実験車を作ることをやっています。つまり、ハンドル、アクセル、ブレーキ、ギアなどをPCの言いなりにさせると、実はその後の遠隔操縦とか、自動運転というのは簡単にできます。簡単にはできないのですが、そのあとプログラムを書けばできるようになります。

これはこのような形でPCの言いなりにして動いているよという様子です。あと、その上に自動運転のソフトを自分たちで作って入れてみると、このような感じですよということで、これは新川崎タウンキャンパスという川崎のキャンパスでやっていますが、車を発進して、このような駐車場、停止線で止まってというような形で走っています。ここに出ているCGの方、これは車内の方の制御の画面で、この矢印のようなものが今後進行していくところ、緑色はライダー、レーザーレーダーで取られている周囲の危険とおぼしき物体、それとたまに青い棒が出てきますけれども、この青い棒はミリ波レーダーと呼ばれる電波式の

レーダーで取っている、危険かも知れない物体です。速度制御などは全て曲率とか障害物、停止線、そういったものの位置関係で制御するというようなことをやっています。

当たり前ですけれども、障害物などはきちんと検知しますし、避けて走ります。あとはこのような交差点、こういったところは、当然、車の有無によって判断していく必要がありますので、一応優先の方を行かせてから行く、というそういうようなことをやって、あとは駐車で、駐車もします。このような我々ベースの車があって、PCの言いなりになれば、あとはソフトを書くだけでこの程度のことは普通に、当然センサをつける必要がありますけれども、できるということになります。

■電磁誘導線センサの製作

あとは最近、僕の自由研究みたいにやっていたことなのですが、今、電磁誘導線を使った自動運転というものがけっこう流行ってまして、ゴルフをやられる方はよくご存じかと思いますが、例えばゴルフカートで、実は地面の下に電線が埋まっているのです。そこから交流の電気を流すと磁界が発生しますので、その磁界を見て追従します。これがけっこう雪などにも強くて、メーター3000円ぐらいで施工できるらしいので、けっこう安いのです。そこで地方の自動運転などでは使われている方式なのですが、実はこの磁気センサがほとんど流通していないというか、普通では手に入らなくて、ゴルフカートぐらいでしか、この電磁誘導線を貼っても今使い物にならないということだったので。

そこでいろいろな車でできると楽しいかも知れないと思ひまして、このような電磁誘導線を検出するセンサみたいなものを自分で作っています。これが最近の研究の紹介ということになります。

■自動車の遠隔操作の研究の紹介

次に、遠隔操作の研究についてお話をしたいと思います。研究テーマは3つありますが、まず研究の背景みたいところを少し説明したいと思います。自動車の遠隔操作は、普通にラジコンなどでは昔から皆やっていたことなので大したことはないのですが、それをフルサイズの自動車で行うとなると大変かという、実はそれほど大変ではなくて、まあ怖いというぐらいのところがあります。僕自身はツールとして遠隔操作をやっている、研究では全くなくて、単に実車ラジコン作りたという思いもあったのですけれども、とりあえず2003年頃、実際の車をこのように遠隔操作していました。何のために遠隔操作をしていたかという、自動運転の実験をやりたい、この当時、自動運転というのはドライバーに任せていいのか、オーバーライドなどをドライバーにやらせなくては行けないのか、航空機のパイロットなどはオーバーライドしますから、そういったことを調べる必要があるだろうというようなところもあって、僕自身は自動運転に乗っていると眠くなるので、絶対寝ると思っていたのですけれど、これを証明したいということもありました。ただこれ、オペレーターが隣に乗っていると被験者がいつまでたっても元気なのです。なので、やはり被験者一人で乗ってこそ、この退屈さがわか

るということ、一人で乗せるためにはどうすれば良いだろうという、遠隔操作にしてみれば良いのではないかと、つまりオペレーターのことを遠隔操作で回して、そして一人で乗せるということです。遠隔操作をすると実は車を暴走させられるかもしれないということで実際にそういう着想でやってみたのが、遠隔操作で回して、被験者には自動運転と言うのですが、突然道から外れるというような実験をしたことがあります。5分後に道から外れるということで、道から外れる操作は全て遠隔操作でやっています。そうするとドライバーは普通にブレーキを踏むのですが、実は60分ぐらい乗っていると、ドライバーはぐったりしてしまっていて、足もブレーキを踏む気ゼロみたいなことになるのですけれども、こちらで回していきなり道から外れると慌てて踏むみたいな感じで、一応踏めるのですが反応は遅れます、操作も乱暴になります。そういったことで、30人ぐらい測ったのですが、30分ぐらいまではドライバーもしっかり反応するのですが、60分乗せるとさすがに人によるバラツキがひどかったり、乗っている時も足を組んでいるような人もいたりして、いろいろと大変でした。今はレベル3自動運転と呼ばれる、ドライバーが介入しなくては行けない自動運転というものがありますので、あまりこの辺りの話をすると嫌がられるので、あまり言いませんけれども、ただ、2005年ぐらいに論文を出したのですが、当時も研究内容自体は物議をかもしななかったのですが、研究倫理的にどうなのかということでもごく怒られました。こんな危険なことをやって倫理委員会を通したのかというようなことが査読の

コメントなどを書いてあって、倫理委員会とは何だろうというような頃でしたので、人間を使うと大変だなあと思った研究です。

もうひとつ、ツールとしての自動運転ということで、これは2008年頃、宮城県で遊園地の跡地を使って自動運転をやっていたのです。自動運転車に親子を乗せて、シートベルトもせずに、今だとめっちゃめっちゃ怒られそうな状況なのですが、このような自動運転をやっていたときがあります。そしてこのようなことをやっていたときに、結構色々、例えば車を回送したりするのが面倒なのです。そこで、上はちょっとあまり関係ないのですが、下が遠隔操縦をして回送をするということで、普通に実はツールとして遠隔操縦は使っていたところがあります。

研究として遠隔操作を考えないといけなくなってきたのは、けっこう最近のことでありまして、今、このラストワンマイル自動走行システムと呼ばれる、近距離の移動を手助けして、高齢化が進む地域の活性化とか、そういったものを実現する手段として使われています。こういったものをこれから道路で実証する際に、道路使用許可を得る必要があるのですが、その際に2017年から、こういうものには遠隔操作をつけないといけませんというような基準が出てきて、これは未だにその基準が残っています。ただここで、遠隔操作と言ってもあまりそのあたりの知見がありませんので、こういったところで遠隔操作の知見を高めていくのは重要なことだろうと思っていて、研究としてやる必要も出てきました。

■視野角等の条件の影響評価

これは、そういったニーズよりも前にやっていた研究なのですが、一つ目の研究の紹介としては、遠隔操作も使うカメラによって、全然見え方が違うということがあります。カメラの画角、ズーム量の違いによって、同じ距離にあるものでも遠くに見えたり近くに見えたりします。例えば、車に追従するというようなことを考えると車間距離がそれによって変わるわけです。では一体どのくらいの映像を与えれば、大体普通の目でただ運転した場合と同じような動きになるのだろうかというようなところを調べたいと思って、カメラに画面越しに運転をさせるみたいなことをやって、直接目視で運転した場合と比較したりして調べていた研究です。これは実際にいろいろな実験をやっているところです。結論としてわかったことは、カメラの視野角を120度から150度ぐらいにしておくと大体目視と近い運転になるということを確認しました。あとフレームレートや画像サイズ、解像度の影響は画角に比べれば相対的に小さいということがわかりました。低速運転に関しては、あまり加速度とかそのような情報を与えなくても、運転の挙動は変わりませんねということを確認したという研究です。

■映像遅延の影響評価

二つ目の研究としては、映像の遅延、これはなかなか実験的に与えることが難しく、どうしようかなということをやった研究です。何をやったかという、映像の遅延というのは大体通信の遅延と、映像の圧縮展開の遅延がありまして、普通に通信に遅延がないような状況でも200msecぐらい、

市販の映像の伝送器を使うとかかりますし、そこで携帯回線を間に入れたりすると、実測で600msecぐらい出ることもあります。そういったところで、人間は果たしてどのくらいの遅延までまともに運転できるのか、というところで、これも低速に限った運転ということで考えているのですが、ここで任意に遅延をコントロールしにくいので、遠隔操作シミュレータを作ってしまう、ということで、遠隔操作をする機械はあるのですが、それを模擬するシミュレータを作って、自由に遅延を与えて走らせるというようなことをやっています。まず普通にやった場合は、実機でやった場合とシミュレータで同じ軌跡を通ると言うことを確認した後、遅延をどんどん上げて行ってやってみると、やはり遅延が大きくなるとまともに走れなくなるというところでした。13人やったのですが、時速10キロの場合は、大体、平均で800msecぐらいから、まともに走れなくなってくるということを確認しました。ただ、何故か2000msecぐらい遅れていても運転できる人などもいたりして、けっこう個人の技倆によるところはあるのですが、結論的には10キロだと800msecぐらいです。速度を上げていくとやはり許容値はどんどん短くなってきまして、秒速×許容値が3メートルぐらいというところが今回の実験の評価でした。

■CGを利用した遠隔操作

最後に紹介する遠隔操作の研究は、地図情報を利用した少ない通信による遠隔操作です。遠隔操作を考えますと、大体カメラの映像を流せば良いと考えるわけですが、カメラの映像はやはり重たい、ポ

リュームが大きいということがあります。そこで、細い通信量で何かできないかというところを考えてみますと、今、自動運転車はけっこう高精度な地図をしっかりと持っているということ、もうひとつ自動運転車に限りませんが、自動車はかなり高精度な自己位置推定をしています。つまり自分の自己位置がわかっています。ということは、地上局が三次元マップを持って、車から位置情報をもらってそこにプロットしてやれば、CGで遠隔操作画面が再現できるのではないかとということで常に位置情報を送る、映像情報ではなくて、さらに周りの障害物情報も送る、周りの障害物は危険があるものは1、危険がないフラットなところは0というゼロイチだけで送りますと、800バイトぐらいで走行範囲をカバーできます。そうしますと、一周あたり800バイトの情報量で、1秒間に20回やると20キロバイトぐらいの情報量になりますが、それぐらいの情報量で、そこそこ地上局側で再現ができます。そして実際にこれで遠隔操縦ができるのかということでやってみると普通にできますねというところをやっています。このようにCGで再現すると、何が面白いかというと、実は視点を自由に変えることができるようになります。そうすると、カメラを据え付けた位置でしか運転ができなかったものが、けっこう自由な視点で運転ができるようになりますので、そういったメリットもあります。当然ながら、遠隔操作のためだけにこれをやろうとすると車の位置情報も必要になりますし、三次元マップも必要になるわけですから、あまり合理的な手段とは言いがたいですが、元々自動運転のために三次元地図をその

走行範囲で用意していて、そして制御のために車そのものが自己位置推定や自己位置計測をやっているということであれば、こういう形でやっていくということは非常に有効ではないかと考えてやっていた次第です。

■ 自動運転車の路車協調の紹介

次は自動運転車の路車協調に関する研究の紹介をさせていただきます。これはけっこう古い研究が多いのですが、自動運転の中でもスタンドアロンで走るのではなく、何かと協調してより賢くできないかというものです。

■ 歩行者の移動予測

最初に紹介するのが、路側からの歩行者の移動予測情報で路車協調したいというものです。着目点は何かと言うと、インフラ側にセンサを突っ込んでおきますと、当然ながら車から見えない部分も扱えるということはあるのですが、それ以外にも実は長期の観測データが使えると言うことで、例えば、漁師さんが毎日漁に出ていると、何故か今日はシケるとか、そういうことがわかるわけです。そのようなことと同じで、インフラもずっと同じ場所を見ていればその場所のスペシャリストになるだろうということでデータを蓄積して、そうするとインフラが予測できるようになるのではないかというようなことを思ってやっていたものです。あと、自動運転車は単に危険だよ、危険じゃないよという情報だけではなくて、確率の情報も扱えるということ、時々刻々と変化する情報も扱えるということで、人間は確定的な情報を与えないと怒られそう

なのですが、自動運転車に関しては、このような不確定な情報でも大丈夫です。結局何をやってたかと言うと、路側のシステムが何パーセントぐらいの確率で歩行者が横断するよというような情報を車に与えるというようなことをやっていました。ドライバーに30パーセントぐらいの確率で歩行者が何メートルの位置で横断しますなどと言われても、ドライバーにしてみれば、30パーセントの確率では止まれと言っているのか、行けと言っているのかわからないという感じですけども、自動運転車ですと、他のパラメータと合わせて考えることができるということになります。

実際、これはどうやっているかと言うと、インフラ側が歩行者の移動を全部蓄積しています。長期にわたって蓄積しているわけですけども、そうすると、歩行者を検出すると、そこから自分が持っている、この位置と向きで過去に発見された履歴を全てあたります。そうすると、何となく何パーセントぐらいの確率でこちらを通るとか、あちらを通るとか、入ってくるというようなことが、過去の履歴からわかります。少なくとも過去80回ぐらいここを通った、20回ぐらいあちらを通ったというようなことから、80パーセントの確率というようなことが言えます。今ですと、AIのデータなどを入れるともっと賢くやるような気もしますが、当時はこのようなやり方をしていました。そうすると、この場合は走路の2カ所にこれぐらいの時刻に入ってくる確率が高いという確率のマップが生成されて、これを車側に送ります。車側はそれを鵜呑みにするのではなくて、様々なパラメータと合わせて速度計画をして、評価関数が一

番小さくなるような形で速度制御をかけていくというようなことをやっています。実際にやってみると、それなりに賢く走ることがわかります。例えば、路車連携がないと、歩行者が来て止まるよというときに、けっこう急ブレーキで止まるということになります。路車連携していると、確率情報ももらってきますので、けっこう手前から減速して、そのあと抜けていくようなけっこう賢い走りを行います。結局は減速度も小さくなりますし、旅行時間も速くなるということがありました。

■路側からの誘導予測

次の路車協調の研究は、これは協調と言うよりは、路側から完全に誘導してしまえというようなものであります。この当時、着目していたのは何かというと、今の自動車はパワステが電動化されている、油圧ブレーキも電子制御が可能、エンジンとかEVなどの駆動系も全て電子制御になっているということで実は電気信号を与えれば、ハンドル、アクセル、ブレーキは動くようになっていきます。ということを見ると、実は車側で一生懸命判断をするとすると、センサもつけなければなりませんし、コンピュータもつけなければならぬのですが、それをインフラが全てやってしまえば、インフラが指令値を全て送ってしまえば、車には通信機だけあれば少なくとも局所的な自動運転はできるのではないかというような発想でやっていたものです。では、インフラから車の位置、向きを全て検知して、駆動力とか操舵角の指令値で本当に車を回せるのですかというようなことを確認した研究です。これもビデオを見たほうが良さ

そうです。

これは2台の車をインフラ側の制御で回している様子なのですが、車側は一切の制御、センシングを行っていないで、地上局側から来るハンドルの指令値と駆動力の指令値、これをそのまま盲目的に信じて走るというようなことをやります。それでも普通に道の中を回すことができます。

これを今度はカメラでできないかなということで、建物の屋上にカメラを付けて、車の位置、向き、速度のようなものを全て映像から推定して、目標のコース上を走るように指令値を送るということをやっていたのですが、これもけっこうできます。けっこう小さい絵なので、このようなものでできるのかと言われそうですが、これはけっこう解像度が高いカメラを使っていますので、そこそこの映像にはなっています。ただ、EVを使っていると、これはただの実験車で、今の車が、ハンドル、アクセル、ブレーキが自動で動くという話と違いますねということなので、このような車を買ってきて、ハンドル、アクセル、ブレーキをPCの言いなりになるようにしまして、やってみると、インフラからの制御で普通に動きますということで、車側は何のセンサもつけていないのですけれども、道を走らせることができます。

あとはインフラ側の方に、もう少し良いセンサをつけて、障害物などもしっかり取れるようにしておくと、インフラ側からの誘導でこのように障害物を全て避けて走らせるということもできます。こうすると、単体の車というのは通信機だけあれば良いということになります。

■サイバー空間を介した自動運転車の協調走行

次にご紹介するのがサイバー空間、サイバー空間という言い方が正しいかどうかはわからないのですが、仮想空間を介して自動運転車を協調させるということです。つまり自動運転車もお互いの内がわからないと、結局は止まるということをするわけですが、ここでお互いの手の内がわかればもう少し賢く走れるのではないかと思います。お互いの手の内を交換し合う空間を用意するというものです。自動運転は少なくとも障害物とか危険があったときには止まりますけれども、通常時は数秒先ぐらいまでの行動は大体決まっています。そこで、このサイバー空間に自分たちの予定を、俺はこうしようと思っているというようなことを仮想空間に皆で書き込みます。サーバー自体は全然賢くないのです。サーバー自体は単に皆が書き込む掲示板を用意しているだけというような形で、調停機能は一切持っていません。ただお互いが書き込んだら、相手の手の内を見て、自分たちで判断するというので、サーバーそのものは、あくまで皆が自由に書き込む仮想空間を用意する、あとはそれにアクセスして、皆が相手の手の内を知った上で賢く判断して走るというような研究です。実際にやっていたのは、サーバーに対して書き込むわけですが、サーバーの方ではこういうグリッドマップが用意されていて、車がこのように占有していくぞというような情報を書き込みます。そうするとサーバーの仮想空間には皆の占有予定みたいなものが書き込まれていくわけですが、これは時々刻々と変化していくわけですが、

これを見て車も、この範囲の自分が通ろうと思っているところを見ると、他の車がこのような予定を書いているよというところで、後は優先度の判定をして、止まる／止まらないみたいなことを判断していくというような形になります。ということで協調するということになります。

実際にこういうことをやってみると、どういう感じになるかということ、例えば、今こいつの手の内がわからないので止まるしかない、なんだ、まっすぐ行かないんだ、ウィンカー出せよという話になるのですが、そうすれば少なくとも待っているという形になりますけれども、お互いの手の内がわかると、こいつはまっすぐ行くと言っているから止まらなくてはいけない、けれども次の車は曲がるとわかっているので行ってしまおうということで行きますというようなところまで。

実際にシミュレーションをして、10台ぐらいで回してみると、お互いに手の内がわかるので、それなりに加減速は減ります。あとは、5台しかないので5台でしかできないのですが、これをやってみたら、5台でもそれなりに賢くキャンパスの中を走り回れました。これは実験ですが、協調すると旅行時間が下がったり、減速量も減ったりして良かったという結果が出ました。

■交差点走行

路車協調の最後ですが、交差点走行というようなことを昔やっていました。ちょうど2008年頃、エコブームというのが真っ盛りで、研究でも何でもエコエコと言っておけば、みたいなことでエコに結びつける、

自動運転もエコに結びつけようということで、この交差点をノンストップで通過できればエコになるでしょうということでやっていました。ここは2つのアプローチをとっていました。ひとつは何かと言うと、自律的に車だけで頑張ろうというところで、この交差点に接近する車達があるわけですが、この交差点に接近する車達で通信をして、仮想的に皆が一行に並ぶような状態を自分たちの中で作って、隊列走行を仮想的に制御しますというものです。その状態で交差点に突っ込んで行けば、必ずこの星の部分、交差点を通る車は1台以下に限られるので、ぶつからないで抜けられますというようなことをやって、何か天才的なことを発見してしまったなというようなことでやっていたのですが、これは実はあまり賢くないやり方です。何故かと言うと、この交差点、緑色と赤色が同じぐらいの速度で走っている場合は抜けられるのですが、例えば一方が60キロで走っていて、他方が20キロで走っているのであれば、仮想的に隊列を組ませようとする、全員が40キロで走るみたいなことになり、かえって無駄な加減速が起こりますので、あまり賢くないやり方ということではありました。

こちらの方が、管制型ということで、信号側に管制用のコンピュータをおいて、あとは皆が交差点に入る前に「僕入ります」というような情報を送って、あとはこのコンピュータが、一応加減速が最小限になるように進入タイミングをコントロールする、そしてその指示に従って走るといったことをやりました。そうすると、やはりこの管制型の方がポテンシャルが高いということがわかりました。実際に、この自律型

もかなり早い時から、速度が違っていたら駄目だろうというようなことはわかっていたのですが、少なくとも実験をやろうということではやっていました。これはこのような感じでやっていると、普通に抜けられずということ、大した実験のように見えませんが、乗っている学生からは、これはメチャメチャ怖いと言われていました。何故怖いのかなと思ったのですが、これを見ると実はよくぶつかっていたということがわかりました。このようにバーンとぶつかる、ブレーキ踏めよという感じなのですが、しょっちゅう失敗していました。タイミングもありますので、なかなか難しいなあというところがあります。

こちらは管制型です。管制型の自動運転ということで、この部分が交差点になっていて、各車両がこのまま普通に何も制御しないで行くと、ぶつかるというタイミングで出ています。そこで管制の方が微妙に進入タイミングの指示を変えて全員を通すというようなことをやっているところです。けっこうきわどいです。しかも無人で、一台も人が乗っていないという形でやっていますけれども、普通に動きましたという実験です。このように路車協調すると、自律的に協調する方がエレガントにも見えるのですけれども、けっこう難しい問題が簡単に解決できたりしていいかなと思いました。

■おわりに

そろそろまとめに入ります。まず、本日の講演では、遠隔操作と路車協調の研究についての取組を紹介しましたが、今はディープラーニング等の機械学習が車側にも非常に厚く使われていまして、車両単体

でも、10年ぐらい前だと考えられないようなレベルの高いことが、いとも簡単にできるようになってきて、すごいなという状況ではあるのですが、一方で、やはりシステムが複雑かつ高コストになっていて、また、その挙動が論理的に説明しにくいものにもなりつつあるということがあります。特にパソコンのソフトウェアとかスマホのソフトウェアでしたら、多少の誤動作があっても人は怪我したりしませんけれども、自動車の場合は、誤動作による事故は絶対に避けなくてはならないということ、それがあつたら論理的に説明できないといけないというところがありますので、実用に入っていくにまだまだハードルがあるかもしれないということが言えます。ただ、そこで路車協調というのはけっこう反則技的ではあるのですけれども、例えば車で交差点の見えないところを路側のセンサが見てやるとか、あるいは道路そのものに誘導線を貼ってしまうとか、磁石を貼ってしまうとか、そういうことをやってしまうと、けっこう車両単体ではどうしても解決が難しいようなことを容易に解決してくれることができます。特に自動車の無人移動サービスなどは、高齢少子化で人がいなくなっているところで、なるべく低コストで移動を実現したいという要望があります。そういったところの自動運転などでは、特に有効ではないかと、範囲も決まっていますので、というところで考えると、路車協調というのは、いろいろ戦略的に考えると面白い使い方ができるかなと思います。

今日、中程で紹介した遠隔操作、僕自身は何故遠隔操作をやりたいかといいますと、自動運転の補助としての遠隔操作もあるの

ですが、遠隔操作で乗車運転並に普通に物が動くようになれば、外国の人などが日本の旅客輸送、車を運転してくれるのではないかと考えています。タイに留学していたと申しあげましたが、タイでは皆働きたくて仕方がないのです。日本で働きたいという人が本当に多いです。働きたい人がたくさんいるのだったら、例えばタイの人が車を運転したりしてくれればいい、そうすると遠隔操作でやればできます。そこで皆からお金をもらえばその人が豊かになることもできるというようなところで、この遠隔操作ももっともっと進めて信頼性の高いものにしていけば、今日本で、自動手運転という方向で進んでいるこの旅客輸送とか、物流の輸送という部分で、遠隔操作で世界が協力してやる、みたいな新しい働き方も創出できる可能性もあると思っていまして、そういうところで色々進めていきたいなと思っています。

以上で、少しとりとめのないお話になりましたが、私の話を終わりたいと思います

(文責：編集委員会)