



SEMINAR REPORT

社会基盤に資する I o T



東京大学
先端科学技術研究センター
助教
鈴木 誠 氏

本日は、「社会基盤に資する IoT」というタイトルでお話しさせていただきます。

最近、IoT という言葉をよく聞きますが、まず最初に、IoT で何を目指したらいいのかについて説明した後、我々が手掛けている取り組みを具体的に説明したいと思います。

IoT が目指すところ

2014 年 1 月頃に入ってきたニュースでとても衝撃的だったのが、グーグルによる Nest の買収であったと思います。皆さん方の中にもご存じの方も多いかと思いますが、少し小じやれたサーモスタット、これを家の中に設置して学習させることで、温度管理するのが米国でとても流行っています。これはインターネットにつながる普通のサーモスタットなのですが、グーグルが 32 億ドルも出してこの企業を買収したのが衝撃的なことでした。このサーモスタットがたくさん売れたとしても、32 億ドルにはならない。それなのに、何故グーグルが 32 億ドルもの値をつけたのか？ このサーモスタットには、遠隔から操作できるとか、日々の使用量をチェックできるとか、そのような魅力的な機能があるけれど、それにしても 32 億ドルもの値段がつくというのは考えさせられてしまいます。Nest は元々 iPod を作った人が立ち上げた会社ですが、その人をヘッドハントしたかったというところにグーグルとしての意図があったようです。他には、家庭内の情報を収集するためのハブとして利用するためとも言われています。

この Nest の話以外に情報を得るものとしては、最近は少し下火になって減ってきたような感もありますが、腕につけて運動量を測るものが流行ったように思います。他にもおもしろいと思ったものでは、スマートなフォークというのがあります。これは食べるのが速すぎると震えて注意してくれるというもので、ついつい食べ過ぎてしまうような人にはお薦めの機器です。色々なものをスマートにしていこうというのが今の流れの一つで、それらの機器からデータを集めて、生活の質をより良くしていこうというのが基本的な流れのように思います。しかし、単にデータを集めればよいのかというと、勿論そうではなく、色々なもののあり方、組織のあり方、ビジネスのあり方を変えていくのが、IoT の目指すところではないかと考えています。

物流の事例として、オーディーとアマゾンと DHL の 3 社が手を組んで進めている事業があります。皆さん、アマゾンで物を買って、家の宅配ボックスに届けてもらうとして、宅配ボックスが満杯で帰られてしまったことがあるのではないかと思います。そうしたときに自分の車が使えたらうれしいと思いませんか？ これは顧客にとってうれしいだけでなく、アマゾンにとっても顧客の満足度が上がるという点で有り難いし、配送会社にとっても配送できずに帰ってくるという無駄が省けるので有り難いことです。このサービスは、DHL のドライバーに配達時間帯に車を止めている場所を教えて、1 回だけ開けられる鍵をそのドライバーに与えて、その鍵で開けて車のトランクに入れたら、その鍵は二度と使えなくなるという方法で実現しています。普通に考えれば、車は単なる移動手段でしかないのですが、こういう形で車を宅配ボックスとして使えるようにすることで、車で仕事場に行き、その車に配達してもらうことも可能となります。

もう一つ、これもとてもおもしろいと思ったのでご紹介いたします。「PAY PER LAUGH」というもので、スペインの劇場での事例です。数年前、スペインが経済的に大いに困窮を極めて、劇場でお金を使う人がたいそう減ったときのことで、どうやってお客さんを取り戻すかということで考え出されたものです。このとき、劇場にとっても高い税金がかけられていて、お客さんの入りが 30%も減っていました。そこで考え出されたのが、客席にタブレットを据えつけて、お客さんが笑った回数を数えるというものです。お客さんが笑った回数を数えて、笑うたびに 30 セントもらうけれど、入場料は只にしますというサービスです。

これを行なったら顧客満足度が上がり、お客さんが増えて、お客さん1人当たりから出してもらえる金額も増えたという結果に至ったということです。

このように、自分たちは何でお金を稼ぐべきかというところまで踏み込んで思案するのが、IoTの究極的なゴールの一つではないのかと考えています。画像処理を色々と工夫すれば、涙の数に合わせてお金を取るとか、つまらないと思ったら減らすとか、そういったところにも適用できるという話です。

こういうところがIoTの最終ゴールになるのではないのかと思うのですが、あまたの業界に適用していくのはとても難しいと考えています。その例の一つとして、ゼンメルワイスという1800年代の医師の話です。病院には第一産科と第二産科があって、第一産科では13%の人が産褥熱にかかると死んでしまうが、それに対して第二産科では2%の人しか死なないという事例がありました。これは何によるものなのかとよくよく観察した結果、第一産科の医師は、解剖するときに手を消毒しないことが違いなのではないのか、という説を唱えて学会に発表したところ、それは非科学的な説だと見なされて、学会を干されてしまったという話です。例えば正しいことを正しいと主張しても、人がそれを受け入れてやり方を変えていくのにはとても時間がかかるということで、IoTにも同じことが言えるのではないのかと思います。

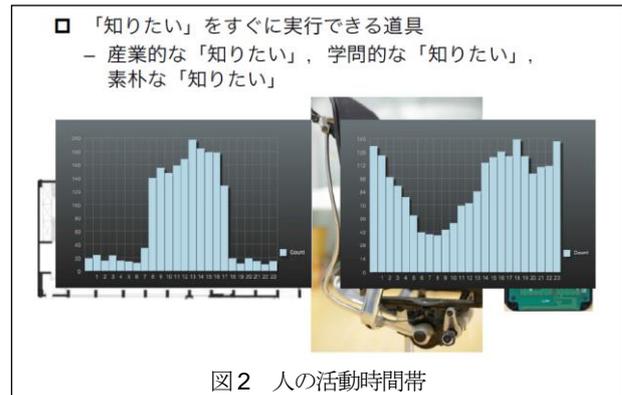
IoTの世界に近いところでは、Programmable Logic Controller (PLC) が1960年代に導入されたのですが、図1の上側が昔の工場で、下側が今の工場でハイテクになっていますが、このように進展していくまでには随分長い時間がかかったということです。これは電力でも同じ状況で、エジソンが電力を開発してから工場が近代化するまでに、数十年を経過しています。



IoTでも、同じ状況を覚悟しながら進めていく必要があると思います。しかもIoTの場合、全ての産業に情報通信を導入していくところが特徴であると思います。今後、全ての産業のあり方を少しずつ変えていくには、大なる試行錯誤が必要ではないのかと考えています。これを情報通信の力だけで、情報通信の研究者や技術者だけで進めるのはとても難しいことで、色々な分野のパートナーを探して、議論しながら試行錯誤して進めていくのが必要になってくると思います。

仮説検証の試行錯誤といっても、それほど気張る必要はないと思っています。図2は、研究室のメンバーがどの時間帯にどれだけ活動しているのかを知りたくて実施した事例です。これはユビキタスの時代からあるアプリケーションで、椅子に加速度センサをつけて、時間帯ごとに動きのあった回数を数える

というものです。計測したところ、人による違いがすぐに現れました。横軸が時間帯で、1ヶ月間における動きを検出した回数を時間帯ごとにプロットしたものです。図2の左側はとても規則正しい人で、朝8時に来て夕方5時、6時には帰ります。図2の右側の人は大いに夜型となっていて、深夜11時、12時あたりがピークで、朝は遅くて10時、11時頃に来て、大抵の場合、夜中の1時、2時頃でも研究室にいるというのがわかります。こういう形でデータを取ってグラフ化してみると、色々なことがわかるので、こういった身近なところから「見える化」していくのがよいのではないのかと思います。



IoT 取り組みのご紹介

現在進めている取り組みをご説明したいと思います。

アプリケーションは2つ、「トマト農場」の話と「橋梁モニタリング」の話です。その基盤技術としては、このアプリケーションでも使用していますが、「センサネットワークの基盤技術」の話と最近始めた「よりシンプルにIoTデバイスを作るにはどうしたらよいか」という話をしたいと思います。試行錯誤を繰り返すためにも、簡略化しようということで取り組んでいます。

(1) トマト農場における育成指標の計測

トマト栽培はオランダが有名ですが、日本とオランダのトマト収穫量の差はとても大きく、5~6倍ほど違います。これは、日本は高温多湿で夏には作物が育たないことも原因として考えられますが、今の日本では、トマトの世話は経験と勘で行われていることが結構大きな原因ではないのかと思っています。収穫量の改善に向けて、筑波大のトマトを専門にしておられる先生と一緒に取り組んでいるのですが、葉を切るタイミングを定量化できないのかという観点で研究を進めています(図3)。これは、もし生育度がわかるのなら、出荷予測したり、出荷時期を遅くするためにはどのように葉を切ったらよいかと情報を取得したりすることを目的としています。

何を測ったらよいか色々検討しました。筑波大の先生と話し合っただけですが、一つ話題に上ったのが葉面積指数 (Leaf Area Index : LAI) というものです。その定義は、1平方メートル当たりの葉っぱの面積です。これを測ることができれば、葉にどの程度の光が当たるのかわかるので、今後どれだけ生育していくのかわかります。ただしLAIというのは、通常葉を切り取って、面積をステアラーでスキャンして測るも

ので、それでは葉を壊してしまうので、非破壊的な手法で推定するための研究を進めています。

- 収量増加に向けて生育指標モニタリングの要求が高まっている
 - 適切な時に間引き・施肥が可能となる（現状は動やコンサルタント頼み）
 - 生育度合いの比較⇒適切な植栽密度や品種の選択に応用できる
 - 農場モニタリングシステムは複数存在するが、積算温度測定等農場内の全体的な傾向の把握にとどまっている

本研究の目的：測定可能な生育指標を明確化し、継続的な生育指標測定システムを確立すること

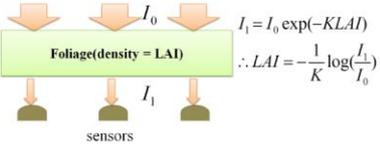




図3 農業IoT研究の背景

トマトの葉を壊さずに LAI を推定するために、Monsi-saeki モデルというものがあります。これはトマトの群落に光が入射したときに、光が透過する割合を推定するモデルです。このモデルによると、図4の式が示すように、トマトの群落の上下の明るさの比を測ることでLAIがわかります。このLAIの変化を測ることによって、「そろそろ葉を切った方がよいのではないのか？」と推測できるので、それではLAIを測ってみようということになりました。

- 光透過率に基づく非破壊的な葉面積指数推定手法
- 散乱光条件（日中のうち太陽光が直接当たらない時間）での測定が必要
- 群落上の光強度を I_0 、地面に到達する光を I_1 とすると葉面積指数は下式の通り表すことが可能
 - K：品種や植栽場所毎に異なる吸収係数
- 測定機器の例：LP-80など（右図）



$$I_1 = I_0 \exp(-KLAI)$$

$$\therefore LAI = -\frac{1}{K} \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$




図4 Monsi-saeki モデル

まずは、センサを作りました（図5）。照度計にピンポン玉を切ったものを上に被せて光が散乱するようにして、10台ほどをトマト農場のビニールハウスに取り付けて、無線で飛ばせるようにして測定しました。図6に示すように、ワイヤーの下に吊るすようにして設置しました。

- 光透過率測定時間決定に向けた要件の明確化
- 測定機器
 - 名称：PARSERI (PAR Sensor for Evidence-based agriculture)
 - サイズ：8cm×6cm×5cm
 - 測定項目：光合成有効波長 (PAR) 強度 (0~10000lux および 0~220000lux)
- サンプリング間隔：30秒
- 測定期間：2012年11月3日~2012年11月15日




図5 センサ及び測定期間

- 2個体を1つのエリアとし、個体の中間点にセンサを配置
 - ハイワイヤに向けて伸ばすため、レーン上ではなくワイヤ下に設置

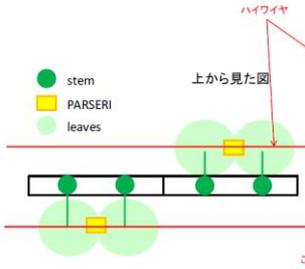
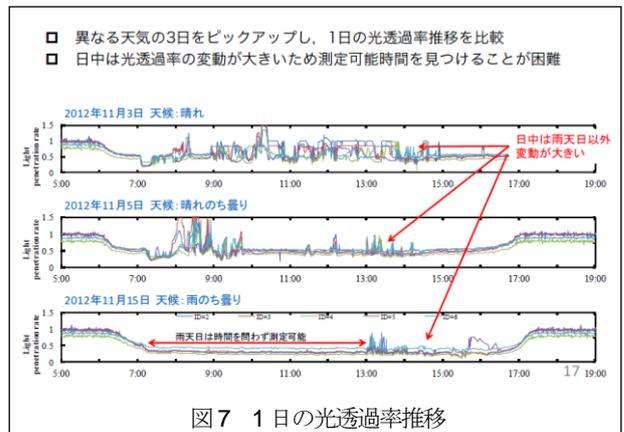
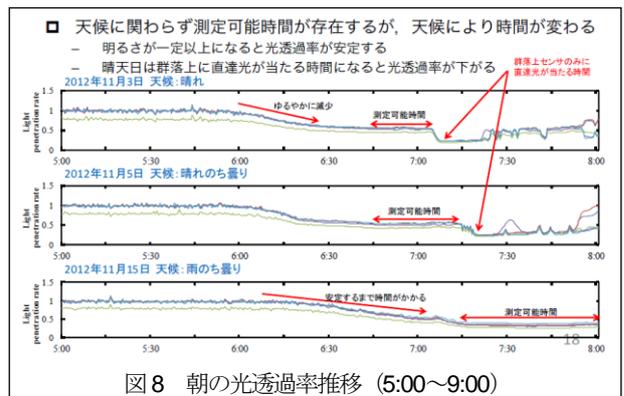



図6 センサの設置場所

図7が測定結果です。Monsi-saeki モデルの前提として、直射日光が当たらないときの散乱光が対象とされているのですが、図7の時間推移はこれを相対比率に直したものです。とてもノイジーな結果が得られています。曇りの日や雨の日は、比較的安定していてLAIを求めやすいのですが、このような日を除いて、いかにして安定して測れるのかということの研究を進めました。



安定して計測できる条件を色々検討しています。散乱光条件になるのは、雨天の日もそうですが、日の出のタイミングは必ず散乱光条件になることがわかってきて、朝イチのタイミングを見つけて、そのときに計測する手法を開発しました（図8）。



日の出時刻がわかれば朝イチは簡単にわかりそうに思いますが、その日の天候、地理的にどこなのか、山の影にならないのか等の条件で、測定可能な時間帯はどうしてもずれてしまいます。そこで、図9に示すような条件でLAIの推定を行っています。早目に測ってしまうと光が余り入って来ないので、とても

ノイズになって、誤差が大きくなってしまいう問題があるのです。

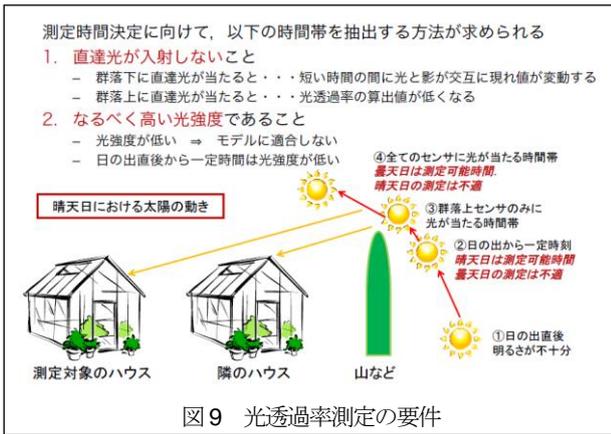


図9 光透過率測定の要件

この条件をアルゴリズムを使って、品種ごとにどのような育て方をしたら収穫量が増えるのか、筑波大の先生と一緒に研究を進めているところです。図10はその一例で、取得した画像と推定した画像を組み合わせたものですが、このような形で日々成長していく様子とLAIが伸びていく状況がわかるシステムを作っています。



図10 品種ごとの光モデル推定

このシステムが今すぐに収穫量増加に直結しているのかというと、そこまでには至っていませんが、ここ2年ほど計測を継続していて、筑波大の学生がデータを基に研究してくれている段階です。図11は、赤い点線より上が10日間でもこんなに成長したというもので、一番高いところがここまで伸びたという画像です。

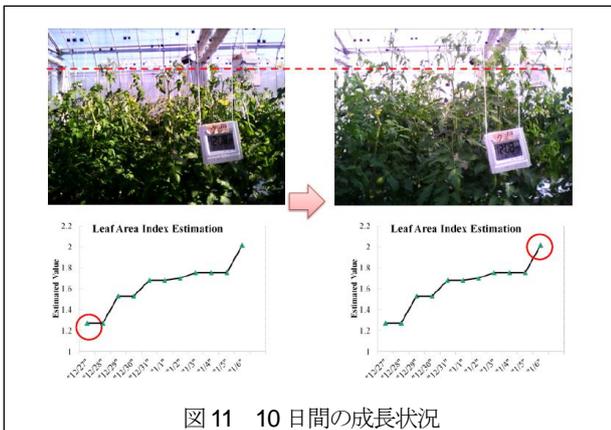


図11 10日間の成長状況

(2) 橋梁モニタリング

橋梁モニタリングの課題は、トマト農場の場合と同じで、センサをつけたら何がわかるのかということです。これはとても重要な問題で、人間による点検を超えられるのかどうか、導入するに当たっての判断基準になると思います。

センサでわかるのは一つだけです。例えば、橋の健全性がわかるとして、そのとき同時に路面の状態までわかるのかというと、それはわからない。これはセンサでは当たり前のことです。しかしながら、人が点検する場合は色々なところまで見るのに、センサで色々点検しようとするとうと10個、100個のセンシングシステムが必要になってしまいます。人が点検に行けば、ある程度のことは調べられるので、果たしてセンサがコスト的に見合うものなのかどうかという問題に帰着します。

橋梁モニタリングを研究している先生方の見解が本当に真っ二つに分かれていて、「センサをつけてデータを測ってみなければ、何もわからないのではないのか。」という先生もいれば、「センサなんかをつけても何もわからない。人が出かけて行った方が絶対にいい。」という先生もいます。

我々としては、「何かセンサをつけて、それでデータを収集して、どこにつけたら何がわかるのかを少しずつ明らかにしていこう。」というスタンスで研究を進めています。

図12は、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)で進めているものですが、我々が受託しているプロジェクトでは、土木系で費用の大きいものが二つあります。舗装管理は意外と費用がかかって、3,000億円ほど必要です。その次に大きいのが橋梁点検で、これも2,000億円ほどかかります。この二つの問題を解決しようということで研究を進めています。

塗装管理は、車にiphoneを取り付けて加速度を調べることで、ポットホールがないか検出する技術の開発を目指していますが、この説明は省きます。

橋梁点検の方を説明します。センサをつけて何がわかるのか難しい問題ですが、我々が着目しているのは、連続高架橋の揺れが同じかどうかを調べることで、故障箇所が浮き彫りになってくるのではないかと考えて研究を進めています。高速道路、例えば首都高速道路を思い浮かべていただくとわかり易いと思いますが、作りが大たい同じで、交通量もほとんど変わらないです。

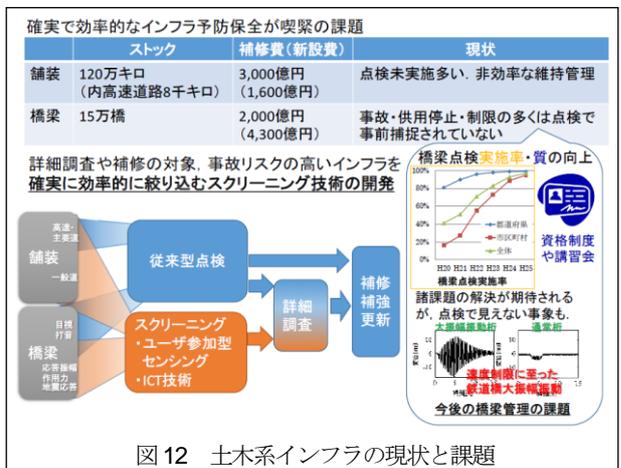
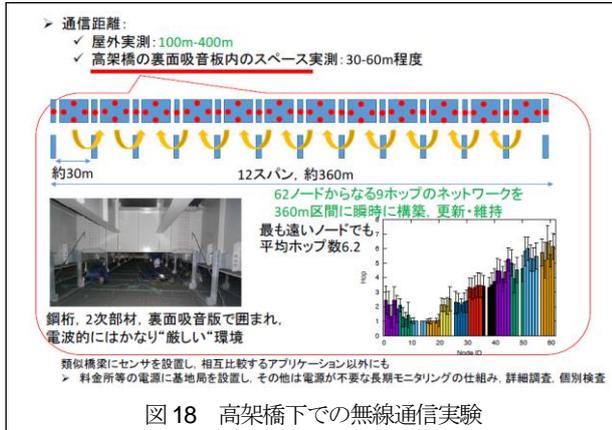


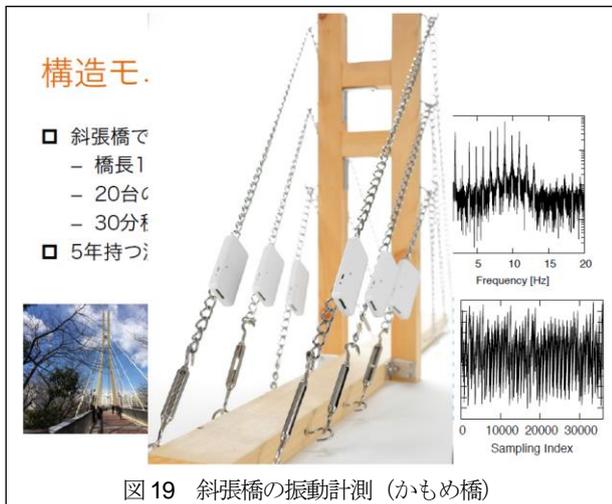
図12 土木系インフラの現状と課題

図13は、新幹線の連続高架橋で振動を測ったものです。隣り合う連続高架橋において、振動を示す2つの図を比較すると、

んでいて、30m 置きに箱を越えるのですが、このときとても狭い 30cm ほどしかないところにもセンサを設置していくのですが、ここは電波環境もかなり厳しく、12 スパンに7~8 ホップほどのネットワークを組んでデータを収集しました。



ここまで述べてきたことは、同一構造のものを比べることで違いを見出しそうというのですが、一つわかり易いものとして、斜張橋というものがあります。斜張橋は、図 19 に示すような構造になっていて、「横浜ベイブリッジ」などがこの構造です。主塔があって、車が走る主桁をこのケーブルがしっかりと引っ張ってくれているから、橋が倒れずに立っているのです。逆の言い方をすれば、このケーブルにかかっている力を推定できれば、橋がしっかりと立っているかどうかはわかるはず。そこで、ケーブルの張力を測りたいところですが、当然、間にバネ秤のようなものを挟むわけにはいかないので、推定できる何かうまい方法を見つけようということになります。



その手法として、ケーブルに加速度センサを取り付けます。ギターやピアノは、張力が高くなると高い音色が出るのですが、同じ原理で、橋のケーブルも張力が高くなると周波数が高くなります。そこで、加速度を測ることでケーブルにかかっている張力が推定できるのではないのかということで実験をしました。図 19 の測定データは、大井競馬場の側にある「かもめ橋」で計測したのですが、弦と同じ構造なので、このように倍音の波形がたくさん現れます。20 台ほど設置してデータを収集して、張力の推定をしました。

他には、「レインボーブリッジ」でも実証実験を行なっていて、センサノードを全部で 30~40 台ほど設置して、1 日通してデータを収集しました。

(3) 無線センサネットワークプラットフォーム

「トマト農場」と「橋梁モニタリング」についてお話ししましたが、その分野の専門家と論議していく中で、単に無線ネットワークをつなげてデータが届くだけでは不十分だということがわかってきました。彼らは計測したいのであって、通信できればよいのではないのです。しかも、有線と同じように計測したいと考えているのです。

無線でセンサノードをバラバラと設置すると、それぞれが勝手なタイミングで測った値が送られてくることになり、それではデータとしてとても扱いづらいです。同時にサンプリングして、かつ、ロスなくデータが送られてきて、さらに、低消費電力であれば尚更よいというのが、共通の要求事項であることに気づきました。この条件で無線による基盤構築の開発を進めています。

図 20 は、1 台のノードで広いエリアをカバーするのは難しいので、マルチホップなネットワークの方がよいという話です。

「トマト農場」の群落の上と下で明るさを比較する話をしましたが、これも同じタイミングで計測しないとイケないです。太陽の関係で下は日陰になっているが上は直射日光が当たっていることもあるので、サンプリングスピードが遅いネットワークではサンプリングの同期はけっこう重要なのです。また、植物はけっこう水分を含んでいるので、成長すると電波的な障害物となります。それ故、通信路はしっかりと確保する必要があります。

省電力にしたいというのは共通の思いですが、無線の消費電力で何がポイントかという、「受信待機」に大きな電力を要することです。マルチホップでは送信に加えて受信もしないといけないので、受信待機状態にしておく必要があります。間欠受信では消費電力を低く抑えられるものの、無線オフのときに送られてくると、パケットロスになってしまいます(図 20 左側)。だから、何らかの同期をとる手段が必要となります。

時計合わせをせずに同期をとるには、例えば、1 秒間に 5ms、10ms だけ立ち上がって、自分宛にパケットがあるかどうかを確認する方法があります(図 20 中央)。この場合、パケットを 1 秒間送信し続けるといけないので、送信オーバーヘッドがとても大きくなります。時刻同期をとる方法もありますが(図 20 右側)、マルチホップのトポロジーを組んだ状態でスケジュールを組むのは大変難しいことなのです。



マルチホップ型を構成するのに木構造を組むというのがありますが、子ノードが多数つながれている親ノードは、消費電力が大きくなったり、パケットが蓄積して輻輳によるパケットロスが生じたりと、色々な問題が発生します (図 21)。

- ルートに近いノードでは、トラフィックが集中する
 - 輻輳によるパケットロス
 - 消費電力の偏り
- ルーティング自身の消費電力が無視できない
 - 特に、低トラフィックのアプリケーション

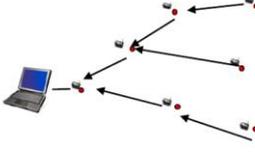


図 21 木構造型マルチホップの問題点

この対策として、Choco という同時送信型プロトコルを開発して、ルーティングしないでマルチホップのネットワークを構成するものです。ルーティングしないというのはどういうことかという、最初に 1 ノードが送信すると、受信したノードはすぐに全ノードに転送します。これは基本的にはフラッディングなのですが、普通のフラッディングは、受信したら干渉が起きないようにランダムな時間をおいて転送します。Choco では、受信したら即座に全てに転送するようにしています。

普通に考えると、複数のノードが同時にパケットを飛ばすと、コリジョンが発生して受信できないはずですが、802.15.4 のような低速の通信であれば、図 22 に示すように、波形がうまく重なると受信できるという素朴なアイデアが最近提案されています。マルチホップのセンサネットワークはルーティングがとても複雑で、作りづらい使いづらいところがありますが、Choco を使うとバックオフやコリジョン・アボイダンスは要らなくなるので、ルーティングの嫌らしさを回避できます。

しかも、1ms、2ms のパケットを受信・転送、受信・転送とホップ数だけ行なえばよいので、消費電力的にも優しいネットワークが作れます。1 スロットを 1 フラッディングして、そのスロット要求を適切にスケジューリングすることで、先ほど示したような要求条件、同時サンプリング、伝送ロスなしを満たせるネットワーク基盤が作れます。いささか眉唾な通信方式なのですが、技術基準適合認定も取れています。

- 同時送信技術を利用したルーティングレスマルチホップ
- スロット型の通信方式
- 高速なスケジューリングにより、トラフィック変動への効率的な対応や、E2Eの再送が可能

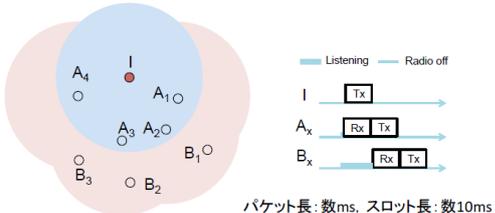


図 22 通信プロトコル Choco の概要

図 23 に示すように、Choco には色々メリットがあります。ルーティングして目的のノードにパケットが届かないとなると、再度ルーティングして次の相手となるノードを探す必要がありますが、Choco は受信したらすぐに転送するという簡単な方式なので、電波環境の変動にはとても強いです。しかも、ノードが一斉に立ち上がって、ささっと通信して、すぐに停止するので、低消費電力にできます。データ転送量が低いときには、ルーティングに必要な定期的な通信を無くせるので、特に低消費電力化に効いてきます。こういったローパワーの無線ネットワーク上で TCP プロトコルを動かすのは意外と難しいのですが、Choco はエンド to エンドで簡単に通信ができるので、TCP のような 100%信頼性も実現できます。

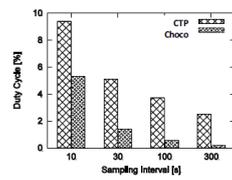
時刻同期の難しさは、パケット到達時間が変動することが一番の原因ですが、Choco は受信してすぐに転送を繰り返すだけなので、パケットが届いたときから測り始めて、ホップ数×パケット数の時間が送信開始時刻であることから、時刻同期も簡単に取れます。

- 電波環境の変動に強い、設置が簡単
 - ルーティंगレス
- 低消費電力
 - ルーティंगのオーバーヘッドゼロ
 - 高速スケジューリングにより、トラフィックがある場合のみオン
- E2Eの信頼性
 - パケットロス時には再スケジュール
- 時刻同期サポート
 - ~100us程度

図 23 Choco のメリット

Choco と普通のルーティングを比較しました。パケット送信間隔を変えることで、Common Transport Protocol (CTP) と比べて消費電力がどのように変わるか評価しました。図 24 は評価結果です。

- 50台によるテストベッド評価 (Motelab@Harvard)
 - IPIが大きくなるほど、CTPの消費電力との比が増加



IPI	10s	30s	100s	300s
CTP	9.4%	5.1%	3.7%	2.5%
Choco	5.3%	1.4%	0.55%	0.17%
比率	1.6倍	3.6倍	6.7倍	14.7倍

- ほぼ均一な消費電力
 - ノードごとのデューティ比 (IPI: 30秒)

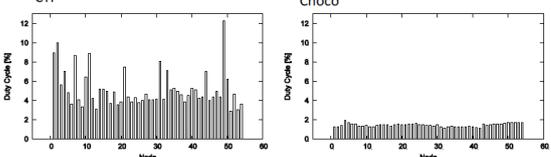


図 24 消費電力 (Choco vs CTP)

無線がオンしている時間割合を示すデューティー比で比較すると、10秒に1回の通信では大して差はないです。送信間隔を延ばしていくと、どちらもデューティー比は小さくなるが、Chocoの方の減少が顕著です。これは、ルーティングのオーバーヘッドが無くなるからだだと思います。

また、Chocoのように方式が簡単になって一斉にオンしてオフするように動くと、消費電力的な偏りは無くなります。CTPプロトコルでは、子ノードが多数つながっている親ノードは消費電力が大きいようですが、Chocoではそのような差異はないようです。

Chocoは、大規模化も簡単にできて、我々が居る7階建ての研究棟に250台設置して実験をしました。本当にポンポンとノードを置いていくだけで、250台のネットワークが組めてしまいます。概ね1時間ほどで設置できて、8ホップほどのネットワークが安定して組めました。250台が5分に1回の割合で送信して、単三電池2本で1年ほど持つぐらいの消費電力です。2.4GHz帯で実験を進めています。2.4GHz帯のWi-Fiと干渉があると使えないのではないのかと言われていますが、性能は落ちていません(図25)。

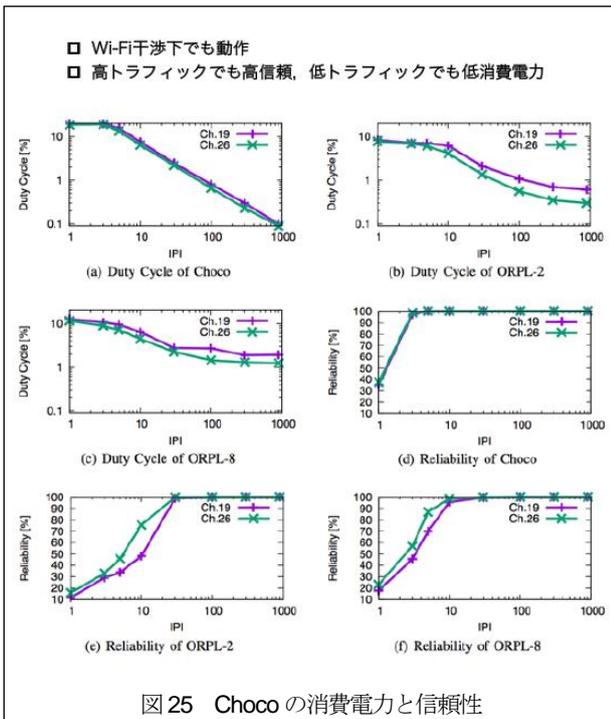


図25 Chocoの消費電力と信頼性

ノードの台数が増えていくと、CSMAベースの通信ではどうしても信頼性が落ちてしまいます。図26は、1秒に1パケット送信してノード数を増やしていったケースですが、ルーティングベースのプロトコルであるORPLの場合、2台で100%を達成できなくなっていますが、Chocoの場合スケジューリングしているので、24台まで100%を維持できている評価結果となっています。また、Chocoは信頼性の高い通信ができるので、100台に対して1分程度でリプログラミングできています。

Chocoを使って色々なデバイスを作っています。通信の信頼性が高いことから、カメラをつなげてトマトが成長していく姿を撮影するアプリケーションを考えています。省電力で画像が送れてマルチホップできるものというのは意外と少なく、農業

用の小さいトンネルがありますが、その中でも使えるようなカメラの開発を現在進めています。

- 1packet/sとして、送信する台数を増加させた場合の信頼性
- ORPLでは、2台の時点で100%を達成できない
- Chocoは24台まで100%

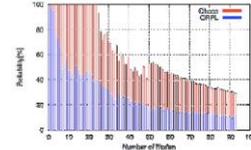


図26 規模に対する性能 (Choco vs ORPL)

(4) IoTデバイス・スマートフォン間通信

最後に、「LEDを利用したIoTデバイスとスマートフォンの通信の話をしたと思います。スマートフォン通信というと、すぐに思い浮かぶのはBluetooth Low Energy (BLE) やWi-Fi などですが、最近、これとは別の通信手段が現れてきたような気がします。

以前、山手線トレインネットというのがありました(図27)。これは、今乗っている山手線の電車がどこを走っているのか、各車両の温度、各車両の混み具合などがリアルタイムでわかるアプリケーションです。これには一つおもしろいところがあって、アプリケーションを起動したまま乗車すると、今あなたは「この電車に乗っていて、しかもこの車両にいます。」というのがわかるようになっていきます。これはどうやって実現しているのかというと、実は超音波通信で行っています。ネット上で見た記事なのですが、BLEは機種依存性が大きくて実現が難しいので、スピーカが付いていれば超音波が使えるので、超音波通信で実現したという内容でした。スマートフォン通信だからといって、BLEやWi-Fiとは限りませんという話です。



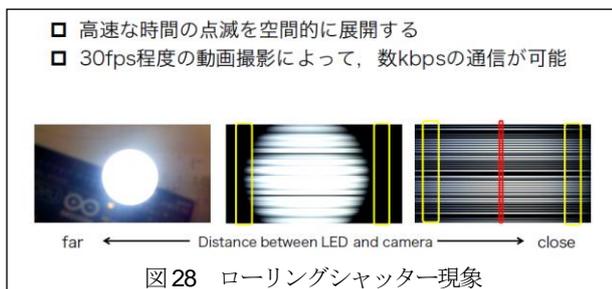
図27 山手線トレインネット

最近出てきたHDMIドングルのChromecastでも超音波が使われています。Chromecastをゲストモードで使いたいとき、以前のバージョンではWi-Fiアプリケーションのパスワードをゲストに教えないとテレビに映し出せなかったのですが、新しいバージョンではテレビのスピーカから超音波で一時的に使えるパスワードを流してやることで、Chromecastと接続できるようになります。応用例としては、ゲストのスマートフォンの中にある画像や動画を皆で共有する用途などが挙げられます。

スマートフォンと通信できる第三の通信方式があってもよいのではないのかと思っています。これから色々出てくるであ

ろう IoT デバイスを、スマートフォンで見る機会が増えてきたとき、どのような通信方式が有利かを検討しています。データを無線でサーバに集めて、それをグラフにして見るのは、標準的な見方であると思いますが、現場で直接見るのも、とてもわかりやすい方法であると思います。サーバに集めてしまうと、どのセンサからのデータなのかが分かりづらいので、その場で見たいという要求が出てくると思います。そのとき、全てのデバイスにディスプレイを取り付けてしまうと、とても高価になってしまうので、スマートフォンをディスプレイとして使うことを考えています。

BLE でこれを実現しようとする、100 個のデバイスがあると 100 個の無線ノードが見えることになり、識別性が悪くなってしまいます。Near Field Communication (NFC) を用いれば近接通信なので他のノードは見えませんが、最近とても小型になったといってもアンテナサイズがネックになって難しいです。他には、イヤホンジャックで聞くというのも最近出てきましたが、コネクタやケーブルが必要になるので使いづらいです。そこで考えているのが LED を使ったスマートフォンとの通信です。スマートフォンのカメラで高速に点滅させた LED を撮ると、カメラのフレーム周期は 30fps でも、100 μ s 程度で点滅させた LED が空間的に展開されて映し出される「ローリングシャッター現象」というのが生じます。この現象を示したものが図 28 の写真で、距離を近づけていくと、このように縞模様が見えてきます。ここに情報を埋め込んでやれば、IoT デバイスとスマートフォンによる通信になるのではないのかと考えています。



「ローリングシャッター現象」というのは結構おもしろくて、ホテルの中で秘密の話をしている人を遠くからローリングシャッターで撮ると、側にあるお菓子の袋などが音声で震えて、音声で復元できるというような研究も行なわれています。この現象を利用すると、30fps のカメラでも 1.5kbps 程度の通信ができます。

まとめ

IoT というと、無線で集めて、それをクラウドに上げて、ということになってしまいがちですが、それを簡単なシステムで、人が現場に出かけて行ってデータを集めるという方法でも、最初はそのぐらいの IoT 化でもよいのではないのかと考えています。

以上です。ありがとうございました。

本講演録は、平成 28 年 2 月 5 日に開催された SCAT 主催「第 97 回テレコム技術情報セミナー」のテーマ、「IoT の具体的な応用動向」の講演内容です。

*掲載の記事・写真・イラストなど、すべてのコンテンツの無断複製・転載・公衆送信等を禁じます。