

機関番号：14401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009 ~ 2010

課題番号：21700223

研究課題名 (和文)

無線センサネットワークを利用する分散 RT デバイスの制御手法に関する研究

研究課題名 (英文)

Control strategy for distributed RT devices using wireless sensor network.

研究代表者

大原 賢一 (OHARA KENICHI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：50517886

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、無線通信における時間遅れの影響を加味した分散ロボット要素の制御について検討を行った。まず、時刻同期の必要性に着目し、分散ロボット間の時刻同期を容易に実現する時刻同期モジュールを開発・評価をおこなった。つづいて、時刻同期がとれている中で、分散 RT デバイス間での通信遅延の計測、および計測結果を用いたシミュレータの開発と上において通信遅延が分散アクチュエータに及ぼす影響とその補償方法について検討を行った。

研究成果の概要 (英文)：

In this project, control method for distributed RT device in smart space have been considered and developed. To compensate time synchronization between each device, time synchronization module was developed. And, time delay with wireless communication between each device were measured based on time synchronized condition. And, by using measured time delay, simulator to evaluate the effect of time delay and control strategy has been developed.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：ロボティクス

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：無線センサネットワーク，時刻同期

1. 研究開始当初の背景

サービスロボットが人間生活環境で活動する上で、ロボット単体での知能化は重要である。しかし、現実にはロボット内部だけで処理できる問題は限られており、さまざまなことを実現できるロボットの開発は困難である。そこで、ロボット単体での問題解決からロボットの周囲の環境からの支援も考慮に入れた広い視点からのロボットの支援を

行うユビキタス・ロボットについて検討されてきている。

ユビキタス・ロボットでは、環境内に活動するロボットシステムだけでなく、ロボットや人間周囲の環境側にもセンサ、アクチュエータを有し、環境自体がロボットの機能を有し、物理的・情動的な支援を目指している。しかし、現状ではロボットはロボット、環境は環境といった形で、それぞれが独立したも

のとして扱う研究が多く見られた。

環境との通信において広く利用される無線 LAN や ZigBee, Bluetooth の場合、通信の状況を常に監視し、その状況に応じて、通信の衝突の回避などを行っており、通信時の情報の到達時間には分散がある。そのため、ロボットの制御において重要なサンプリング周期や時刻同期性を保証できるものではない。そのため、現状では環境のロボット要素と、環境内のロボットの間の情報伝達は、コマンドレベルで行われるものが多くなっており、周期的な制御が行われてこなかった。

環境に存在するロボット要素それぞれが独立して動作しているという点を加味すると、コマンドレベルでの通信でも十分と考えられる。これは既存のロボットの多くが、多機能であるが故に、環境のセンサを補佐的に利用するだけで十分だからということも言える。今後、ロボット自体のコストダウンのための搭載するセンサ数を減少していくと、その分環境側の補佐する役割が重要となり、ユビキタス・ロボットとその内部で活動するロボットの情報伝達をこれまで以上に密に行う必要があると考える。また、ロボット要素の機能の単純化は、ユビキタス・ロボットにおけるシステムデザインの柔軟性の向上にも結び付く。よって、ユビキタス・ロボットを構成するロボット要素部品同士、および既存のロボットの間の分散系が密に連携するための方法について検討を行っていく必要がある。

連携において重要な点として、協調制御問題が挙げられる。体内 LAN で構築されるシステムにおける分散系の協調制御では、通信回線を太くすることにより、通信遅延が発生しにくい状況を作り出し、密な協調を実現してきた。しかしながら、環境内に分散配置されるロボット要素間は、無線による通信が行われる。無線通信は不安定な通信網であり、動作する環境、他の同一周波数を利用する通信との混信、通信距離による信号の減衰など、安定した通信を実現するためには、これらの課題を克服しなくてはならない。また、外乱を除去するためには、通信による遅延を無視することもできない。従来の研究では、ユビキタス・ロボットのようにロボット要素単位で分散する系での通信時間遅れを評価し、その下での制御手法についての検討は十分に行われてこなかった。

2. 研究の目的

本研究では、ユビキタス・ロボットのように、環境内に分散配置されたロボット要素が

連携しながらサービスを実現することを目的としたシステムにおいて、密な連携を実現することを目的とし、無線通信下における、通信の不安定さを考慮に入れた制御手法について検討を行う。

制御手法について検討していくためには、下記の2つの項目について検討を行う必要があると考える。

- (1)分散要素間の簡易な時刻同期手法の確立
- (2)無線通信遅延の計測とその補償する制御手法

本研究では、上記2つの課題について検討を行い、ユビキタス・ロボットにおける制御戦略を練る上での基盤技術を開発することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)分散要素間の簡易な時刻同期手法の確立
分散配置されたロボット要素において、サンプリングタイムを考慮に入れた制御を実現するためには、その根幹をなす、時刻の同期を取れていることが重要である。従来の時刻同期手法は、デバイス間の通信の中で同期をとる手法が一般的であったが、単純なセンサ情報の取得ではなく、数 Hz から数 kHz のサーボ制御と時刻同期を同時に実現することは容易ではない。そこで、本研究では、制御系と時刻同期系を分離し、時刻同期のみを可能にするモジュールにより、この問題を解決することとした。開発した時刻同期モジュールを図1に示す。時刻同期モジュールは、RS232Cの通信とパルス出力の2種類の出力により、通信を行うことができるため、既存のロボット用コントローラに容易に拡張が可能である。時刻同期モジュールは基地局となる送信機の時刻に同期するように設計されており、送信機には高精度なクロックを、受信機には送信機に比較して精度の荒いクロックを用いている。通信周波数は303.2MHzを用いているため、無線LANやZigBeeなど、他の無線通信との衝突が起こりにくい点が本モジュールの特徴である。図2にシステム構成を示す。

本モジュールにより分散RT要素の時刻同期を実現し、制御を行う上での基盤を整備する。

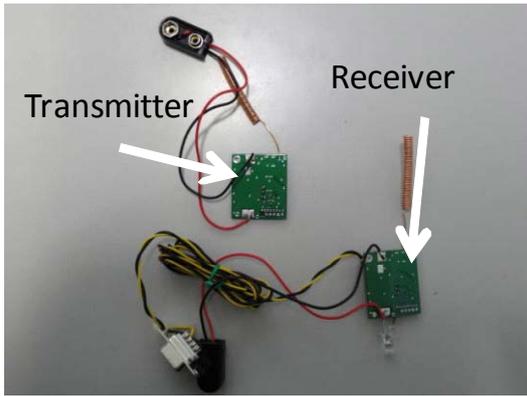


図1 時刻同期モジュール

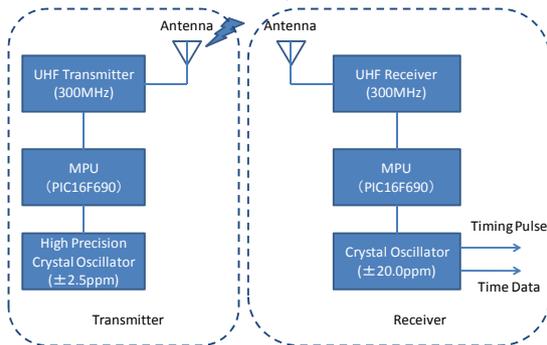


図2 時刻同期モジュールの構成図

(2) 無線通信遅延の計測と遅延補償のための制御手法の検討

無線通信では、通信を円滑に行うための仕組みとして、スケジューリングされた中で通信を行うことや、周囲の電波状況を認識して、通信する方法など、さまざまな研究が行われている。システムが柔軟に変化するような系では、周囲の電波状況を確認してから通信する方法が良くとられており、通信帯域の占有がある場合には、帯域を変更して継続的に通信するなどの仕組みがとられている。

本研究では、こうした中で近年近距離無線通信規格として注目されている ZigBee を用いることとした。ZigBee は、住宅内の機器間の無線通信による連携を積極的に目指しており、ユビキタス・ロボットの概念に適していると考えている。ZigBee のモジュールとして、Digi 社の XBee を用いることとした。

ZigBee の通信において分散する機器間での通信遅延を計測することとする。計測結果は、無線通信における実環境での計測データとして保存し、後述するシミュレータにおいて用いることとした。

分散する RT 要素の一例として、図3に示すアクティブキャストを取り上げることとした。アクティブキャストはユビキタス・ロボットにおける分散アクチュエーションモジュールとして開発されてきたデバイスである。

図3 アクティブキャスト



アクティブキャストは、PC より無線通信により制御信号を受信するが、この無線通信に遅延が発生すると、その遅延が制御指令値に対する誤差となる。リモコンを用いた制御であれば、人間による修正で誤差を低減できるが、自動システムの場合はこの遅延による誤差の蓄積が、位置決め精度に大きく影響を与える可能性がある。しかしながら、キャストという特性上、時間遅れの影響以外にすべりの影響も無視することはできない。

そこで、純粋に時間遅れに関する影響を調査することを目的に、シミュレータの開発を行い、無線通信による通信遅延が及ぼす影響について調査を行った。シミュレータは Open Dynamics Engine を用いて作成している(図4)。

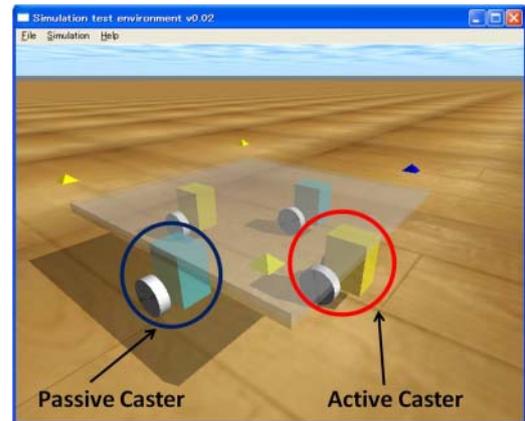


図4 アクティブキャスト用シミュレータ
このシミュレータ上にアクティブキャストモデルを導入した。シミュレータ上では、2個のアクティブキャストと2個のパッシブキャストによる4輪の系を構築しており、PCに取り付けられた ZigBee コーディネータから各アクティブキャストに取り付けられた ZigBee エンドノードを介して制御指令値を送信する。アクティブキャストの内部では、モータ制御ループが回っており、制御指令値の伝達が遅れることは速度追従性が悪化することが想定される。

こうしたシミュレータ上において、無線通信遅延の影響の調査を行う。

4. 研究成果

(1) 分散要素間の簡易な時刻同期手法の確立

図2に示すシステムにおいて、時刻同期モジュールの同期精度について評価を行った。結果を図5に示す。

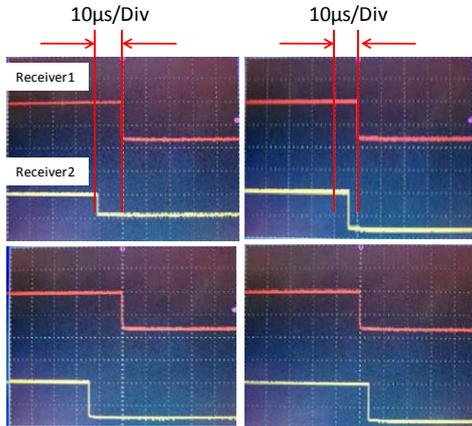


図5 時刻同期モジュールの性能評価

図のように送信機と受信機の間での時刻同期誤差が $\pm 15 \mu s$ であった。現状のロボットシステムの多くの制御周期が1msであることを加味すると、現状の誤差は1%程度であり、十分な精度が実現できたとはいえる。本モジュールにより、容易に分散するロボット要素に時刻同期の機能を付加することが可能である。

(2) 無線通信遅延の計測と遅延補償のための制御手法の検討

ZigBee のコーディネータとエンドノードの間の通信において、外乱がある場合と外乱のない場合で計測を行った。通信間隔は1sとした。結果を表1に示す。この結果から、通信遅延の分散が大きく、高速な情報通信時には遅延の影響が無視できないことが分かった。

表1 通信遅延計測実験の結果

	Without disturbance	With disturbance
Average[ms]	16.5	19.5
Var.	6.54	54.5
S.D.	2.55	7.37
Packet loss[%]	0	5.67
Min[ms]	11.6	16.4
Max[ms]	23.1	83.6

続いて、通信遅延時間計測実験の結果を用い、図4のシミュレータ上で、通信遅延の影響について検討を行った結果を図6に示す。この実験では、アクティブキャスタを設置した系が半径2[m]の円軌道を速度1.01[m/s]で走行した際の走行経路を表している。10回試

行した際の最終到達地点における位置決め誤差の平均は6.22[cm]であり、通信遅延における位置決め誤差への影響があることが確認された。現状、指令の更新周期は100msであるため、誤差の影響が少ないが、複数の機器が存在する場合は、通信遅延がさらに大きくなり、遅延の与える影響が大きくなることが予想される。そのため、通信遅延による速度指令値への反映の遅れを補償する制御を導入していく必要があるといえる。

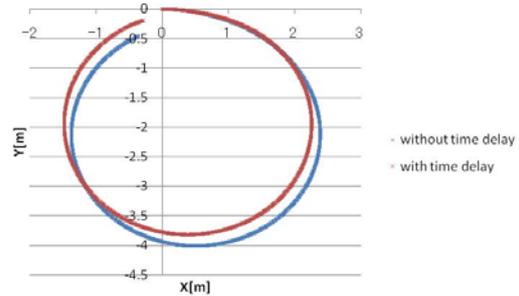


図6 通信遅延による位置追従実験の結果

(1), (2)の課題を通じて、分散RTデバイスによって構築されるユビキタス・ロボットが密に連携するうえで、通信遅延の影響を補償が不可欠であるという結果が得られた。補償方法としてマスタスレーブシステムの導入についても検討を行ったが、通信遅延を理想的にモデル化しているものが多く、本研究で実施した実システムに対する適用が困難である。今後は、こうした無線通信遅延を加味したユビキタス・ロボットのような分散RTデバイス向けの通信遅延補償制御手法についてさらに改良を進める。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

①大原賢一, 谷川民生, 新井健生, “分散配置されたロボット要素のための時刻同期モジュールの開発”, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス部門講演会 2010. 2010. 6. 13-16 (旭川)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大原 賢一 (OHARA KENICHI)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号: 50517886