

## 課題情報シート

課題名：	モーションキャプチャを用いた遠隔操作システムの開発		
施設名：	東海職業能力開発大学校		
課程名：	応用課程	訓練科名：	生産電子システム技術科 生産情報システム技術科
課題の区分：	開発課題	課題の形態：	製作

### 課題の制作・開発目的

#### (1) 課題実習の前提となる科目または知識、技能・技術

安全衛生、画像処理、ネットワークプログラミング、マイコン制御、センサ工学

#### (2) 課題に取り組む推奨段階

少なくとも、ネットワークプログラミング、マイコン制御およびセンサ工学の学科・実習が終了した後で取り組んだほうが望ましいです。

#### (3) 課題によって養成する知識、技能・技術

画像処理・ネットワークプログラミングおよびマイコン制御によるロボット制御の技術  
また、人の動作の計測データから動作を推定するための信号処理の知識も養成されます。

#### (4) 課題実習の時間と人数

人数：7名

生産電子システム技術科 4名

生産情報システム技術科 3名

時間：900時間

#### 〔課題目的〕

近年 VR（バーチャルリアリティ）に代表されるように、人の動作を解析するモーションキャプチャおよび画像処理の技術が発達しています。一方、マイコンの高性能化に伴いロボットの制御はホビー分野でも盛んに行われるようになってきています。このため、学生もロボット制御に関し、非常に興味を持っています。ロボット制御の応用として、これらの技術を用いて遠隔地に設置してあるロボットを操作することで誰でも簡単に操作出来るのではないかと想像されます。

本テーマでは、モーションキャプチャを用いて操縦者の上半身の動作を解析することに

より、遠隔地に設置したロボットの制御を行うシステムの開発を行いました。この課題を通して、画像処理・ネットワークプログラミングおよびマイコン制御によるロボット制御の技術を習得し、柔軟な動きを実現している人の動作をセンシングするシステムの検証を行いました。

### 課題の成果概要

画像処理，ネットワークプログラミングおよびマイコンによるロボット制御を有機的に統合することにより，VRを用いたテレロボテックスを実現することが出来ました。今回開発したシステム構成を図1に，モーションキャプチャを図2，制御対象のロボットを図3に示します。

この課題で使用した各種センサは，腕の動きをセンシングするのにポテンショメータ，頭部の動きをセンシングするのに地磁気センサと加速度センサを用いています。

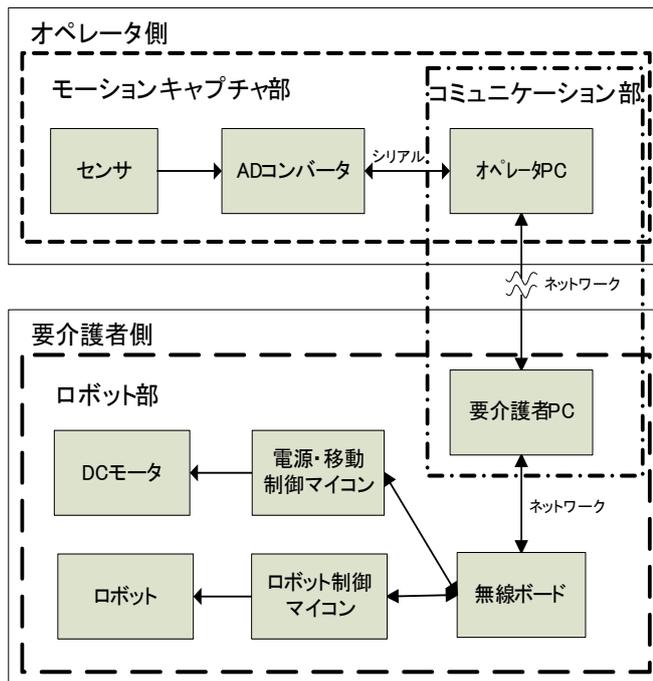


図1 システムブロック図

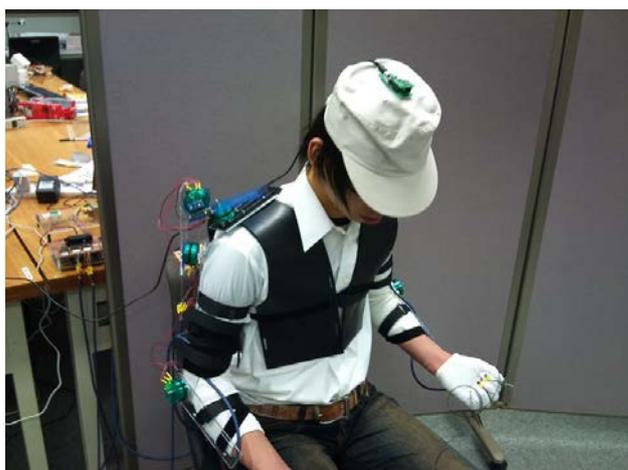


図2 モーションキャプチャ



図3 制御対象のロボット

この課題を通し、電子系技術者に対しては

- 柔軟な運動をしている対象に対する計測技術
- コストを考慮したセンサ選定方法
- 計測したデータを PC に通信する技術
- ロボットの制御技術

情報系技術者に対しては

- トラフィックを考慮したネットワークプログラミング
- 人の動作計測データから動作の推測
- 人の動作計測データからロボットの運動データへの変換
- ネットワーク対応した音声通信プログラミング

の技術を習得できたと思われます。

## 課題制作・開発の訓練ポイントおよび所見

[システム構築の検証]

機械系の学生が開発チームに含まれていないので、モーションキャプチャのフレームは加工しやすいプラスチック板を用いて実現しました。このため、フレームの強度は若干弱いところがありますが、現在、人の動作をセンシングすることには問題はありませんでした。

モーションキャプチャでセンシングしている部位は頭部と全腕部です。全腕部のセンシングには精度の高いポテンシオメータを用いています。ポテンシオメータの設置場所を表1に示します。

表1 ポテンシオメータ定義

部位	方向	ポテンシオ名	検出運動方向
上腕部	右	RP1	肩関節の屈曲・伸展
	左	LP1	
肩上部	右	RP2	肩関節の水平屈曲・進展
	左	LP2	
肩峰（上腕骨頭）	右	RP3	肩関節の外転・内転
	左	LP3	
肘関節	右	RP4	肘関節の屈曲・伸展
	左	LP4	

ただし、今回は肩関節の外旋・内旋および前腕の回内・回外運動は計測しない。

また、頭部の運動センサ（地磁気センサと加速度センサ）の設置点として、屈曲・伸展方

向および回旋方向の計測のために頭矢状弧長と耳珠間頭頂弧長の交点（頭頂部）としました。頭部運動センサには地磁気センサと加速度センサが複合されたセンサユニットを用いています。このため、計測する場所ごとにセンサのキャリブレーションを行う必要があります。

制御対象のロボットは市販のロボットを用いています。このため、ロボットのアームの稼働軸が人のそれとは違うので、完全な人の動作をトレースすることはできませんでした。

〔訓練ポイント〕

1年間の開発課題で、前半は主に仕様の決定、機能の基礎実験を中心に進めていきました。後半は策定した仕様と基礎実験結果から課題の作成を行いました。

要請する能力 (知識、技能・技術)	課題作成・開発のポイント	訓練（指導）のポイント
<p>●開発要求からシステム仕様の決定ができます。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・システムの機能分解</li> <li>・UML（ユースケース分析・シナリオ分析からクラス分析）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システムの機能分解</li> </ul> <p>開発要求をブレインストーミングで十分に検討を行いました。検討を行った開発要求を実現するための機能分析を行い、機能毎の基礎実験を行いました。これら機能分析・基礎実験により、システムの詳細仕様を決定しました。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・UML（ユースケース分析・シナリオ分析）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・システムの機能分解</li> </ul> <p>開発要求に対する開発チーム内のイメージギャップをなくすため、十分にブレインストーミングを行います。</p> <p>このブレインストーミングから機能要求を抽出し、その機能の基礎実験計画を立案，開発チーム内全員に展開します。基礎実験終了後，実験結果の考察も開発チーム全員に展開します。</p> <p>この実験計画立案，実験の考察開発チームへの展開を実習全般で行っていきます。これにより，開発チーム全員の開発イメージ，開発課題の問題点の共有化を図ります。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・UML（ユースケース分析・シナリオ分析）</li> </ul> <p>システムの機能分解および基礎実験結果をもとに情報系学生が中心となって，シナリオ作成・分析およびユースケース図作成および分析を行い，これも開発</p>

要請する能力 (知識、技能・技術)	課題作成・開発のポイント	訓練（指導）のポイント
		<p>チーム全員に対し展開・検討を行います。</p> <p>また、クラス分析を行うときにCRCカードを作成し、クラス検討を行いました。また、ブレインストーミングでKJ法を用いています。このKJ法とUMLのユースケース分析との整合性を取ります。</p>
<p>●ネットワークプログラミングをもちいて、リアルタイムなデータ通信を行う手法を習得します。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・UDP通信プログラミング</li> <li>・スレッドプログラミング</li> </ul> <p>●マイコンによるロボット制御の手法を習得します。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイコンの選定</li> <li>・RT-Linuxプログラミング</li> <li>・OpenCVプログラミング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・UDP通信プログラミング</li> </ul> <p>操縦者側PC、ロボット側PCは共にWindows®XPを用いています。遠隔地に設置されているロボット側PCとの通信を行うために、TCP/IPを用いたネットワークプログラミングを実装します。また、TCP/IP通信するための基礎実験を行いました。</p> <p>UDP通信を行うため、SOCKET APIを用いて通信プログラムを作成しています。</p> <p>また、リアルタイム性を考慮に入れているため、送受信部分はスレッド対応にしています。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイコンによるロボット制御</li> </ul> <p>ロボットの頭部に取り付けた単眼カメラから画像を所得し、操縦者側PCへ無線通信を行います。ロボットを制御するためのコマンド体系も策定しました。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・UDP通信プログラミング</li> </ul> <p>初めは、コンソールアプリケーションで基本的なSOCKET APIの使い方をマスターし、その後、スレッド対応のUDP通信プログラムを作成しました。</p> <p>ここで、実際にカメラからキャプチャした画像を使って、画像サイズ、解像度の違いによりトラフィックがどのように変化することも実験させました。この実験結果からネットワーク構成を学生に考察させました。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・マイコンによるロボット制御</li> </ul> <p>ロボットを制御するために、制御用マイコンを学生に選定させました。このマイコンにはマルチタスクで動作することが求められることから、RTOSとしてLinuxとしました。</p> <p>また、画像も送信データとする</p>

要請する能力 (知識、技能・技術)	課題作成・開発のポイント	訓練（指導）のポイント
<p>・マイコン通信プログラミング</p> <p>●センサの選定, インターフェースと制御プログラム技術の習得</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・センサの特徴と選定</li> <li>・インターフェース (増幅回路と A/D コンバータ)</li> <li>・制御プログラミング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・センサの特徴と選定 初めに現在使用されているモーションキャプチャ (特にセンシング方式) の調査を行いました. その結果から使用可能なセンサを選定し, その基礎実験を行いました.</li> <li>・インターフェース (増幅回路と A/D コンバータ) 選定した各種センサの出力精度を考慮した増幅回路の設計と A/D コンバータの選定を行います.</li> <li>・制御プログラミング 選定したセンサ, インターフェースおよび詳細仕様をもとに制御プログラムを設計しました.</li> </ul>	<p>ことから, 画像圧縮についても学生に習得させました (実際には画像圧縮は行っていません). ロボット制御コマンドを作成した結果, 複数の学生で作業分担を行うことができました.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・センサの特徴と選定 詳細仕様からどのようなセンサが必要になっているのか, また, 現在のどのようなセンサがモーションキャプチャに用いられているのかを学生に十分に検討させました.</li> <li>・インターフェース (増幅回路と A/D コンバータ) センサの選定結果から各部で使用できるセンサとインターフェースを割り付け, ハードウェアの設計を行います.</li> <li>・制御プログラミング 計測精度を確保するためにサンプリング間隔を重要視します. このため, マイコンで計測したデータを効率よく操縦者側 PC に送信することが必要になります. 計測データの送信については十分に情報系学生と電子系学生間で検討を重ねる必要があります.</li> </ul>

〔所見〕

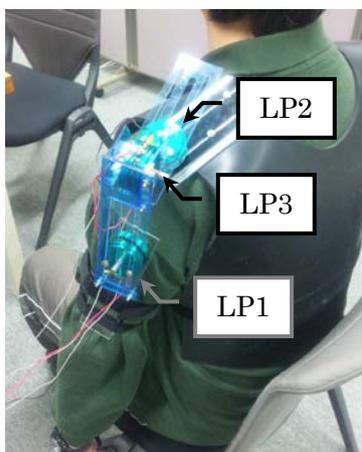


図3 ポテンショメータの取り付け位置（左側）

データスーツの設計上のミスから、肩関節の外転・内転運動を検出するポテンショメータ（P3）が動作しませんでした。原因として各ポテンショメータを中央前額面上に配置するとLP3が外転運動の妨げになってしまいます。この妨げを防止するため、LP1を中央前額面よりも、心持後方（中央前額面上から後方約 $10^{\circ}$ ～ $20^{\circ}$ ）に配置します。これにより、外転、内転運動および水平屈曲、水平伸展運動を計測することができます。

上記、データウェアの設計ミスについては、学生が十分に人の関節の動作を把握できなかったことが原因とと思われます。人の関節は複数の関節が共同で動くことにより、柔軟な動作を実現しています。このため、指導側で運動学に対するレクチャーを十分にする必要があります。

今回の開発課題を通して、学生は異分野の技術者とのコミュニケーションの重要性、実験計画の立案から開発チーム内への展開の重要性が理解できたと思います。また、授業等で得た知識を活用し、未知な（授業・実習では行われない）計測対象に対する計測方法についても、その計測方法や制御方法の研究について貴重な経験をしたと思います。そして、計測から得られた知見を基に現実の制御対象に適応する時の技術課題の克服についても貴重な経験をしたと思います。

#### 課題に関する問い合わせ先

施設名 : 東海職業能力開発大学校  
住所 : 岐阜県揖斐郡大野町古川 1-2

電話番号 : 0585-34-3600（代表）  
施設 Web アドレス : <http://www.ehdo.go.jp/gifu/nokaidai/>