

可視光通信技術の医療・福祉分野への適用に関する基礎検討

村田政隆, 前多良則*, 菅原智明、松原仁**

Study on about application of visible-light-communications technology in the medical welfare field

Masataka Murata, Yoshinori Maeda, Tomoaki Sugawara
and Hitoshi Matsubara

要 旨

可視光通信技術は、医療・福祉施設や海水中等、電波が利用しづらい環境での無線化に適している。また、光が目で見えるため、不要電波障害がなく照明利用も可能な、安全・安心な通信手段ともいえる。しかし、可視光通信は指向性が高く、通信エリアが限定的である等の理由から、わが国での産業利用度は低い。

そこで、医療・福祉分野での産業利用を見据え、「夜間巡視支援システム」と「電動車椅子 UI」に関する可視光通信機器の試作検討を行った。その結果、他通信網との併用、通信確立性、環境光の影響排除等の課題はあるが、「夜間巡視支援システム」では巡視業務の信頼性向上技術として、「電動車椅子 UI」ではモーションセンサを用いて、わずかな動作で電動車椅子を制御する基盤技術として、有用性が認められた。

1. はじめに

可視光とは、波長帯域が380~750nmの電磁波で、人の目に見えるため、通信経路・範囲がわかりやすく、生体に与える影響は非常に小さく安全性が高い。また、電波のように周囲機器にノイズを与える EMI (電磁妨害: Electro-Magnetic Interference) の影響も極めて少ない利点をもつ。しかし、可視光通信は高い指向性を持ち遮断が容易なため、見通しがきく空間でなければ通信できない欠点もある。

(株) グローバルインフォメーション社の web 情報「可視光線通信 (VLC) /Li-Fi 技術・光無線通信 (FSO) 市場: コンポーネント、アプリケーションおよび地域別の動向」によれば、2020年度の可視光通信市場規模は、2015年度市場規模の約

30倍にもなり、今後、国内外で研究開発が進められていく技術のひとつといえる。

本研究では、可視光通信技術の医療・福祉分野での適用性について、試作検証を行った。

2. 可視光通信

可視光通信は、伝送信号 (ビット信号) を変調した光を点灯させて送信し、受光部で光電変換した電気信号を復調して伝送信号を受信する無線通信である。可視光通信分野では、(社) 電子情報技術産業協会 (JEITA) や、IEEE802.15.7等によって近年規格化が進められている。

これまで、信号機や灯台の可視光を利用した通信技術およびアプリケーションの研究開発も進められている^{1), 2)} が、無指向性の利便性を特徴とす

* 株式会社コムテック2000

** 公立はこだて未来大学

責任著者連絡先 (Masataka Murata) : murata@techakodate.or.jp

る電波通信技術に比べ可視光通信技術の産業利用度は低い。しかし、可視光通信はEMIの観点では、非常に優れた通信手段であることから、EMIの影響を特に抑制すべき分野として、医療分野と福祉分野に着目し、夜間巡視システムと電動車椅子のユーザインタフェースに関する通信端末機器の試作・検証を行った。

3. 「夜間巡視システム」の試作・検証

3.1 背景

わが国では、団塊の世代が75歳以上の後期高齢者となる2025年問題が差し迫っており、今まで以上に少ない医療従事者で多くの患者を支える仕組みが今後ますます必要になる。現在既に、入院患者のケアを24時間体制で実施している看護業務の負担は非常に大きいことから、医療業務負担軽減として自動化・情報共有・ネットワーク化等による作業効率向上を目的としたIT導入は有効的と考える。

そこで、長い時間様々な患者と接してケアする看護職の業務のうち、夜間業務負担軽減を図るため、巡視業務に着目し、効率的・効果的な巡視作業を支援する夜間巡視支援システムの試作・検証を行った。

3.2 コンセプト

夜間巡視環境である医療施設では、電波利用を認めている施設もあるが、電波法上で規制される医療用テレメータは、単方向通信限定の特定小電力無線であり、双方向通信ができない仕様である。また、夜間巡視作業では、入院患者の病床を個々に巡回して様子を確認し、必要な対応をした後、記録・保管を行う。その際、巡視者が「病床の場所にいた」という事実が、信頼性を向上させる。

そこで、夜間巡視者がこれまでも使用してきた懐中電灯に通信機能を付加し、可視光と微弱電波による医療施設内での双方向通信の実現と、病床の近くにいることを証明しつつ通信が確立する巡視の信頼性を高めた図1のシステム構成とした。

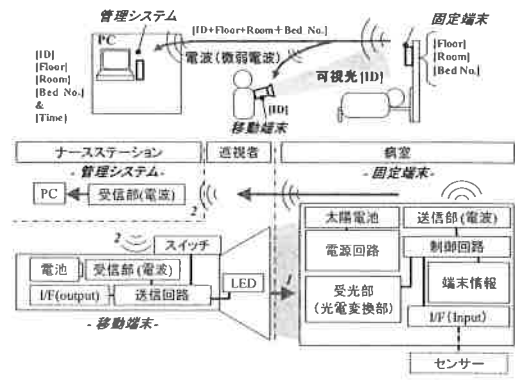


図1 システム構成

3.2 試作

移動端末は、懐中電灯としての機能に端末ID情報を伝送する可視光通信機能を具備している。病床に設置した固定端末は、移動端末からの可視光通信により、ID情報を取得する。移動端末のLEDには、懐中電灯本来の照明機能を損なわないように、表1に示す高輝度LEDを使用した。LEDと照度計間の距離Lと照度Eの関係について実験した結果を図2に示す。

表1 LED仕様

LED(メーカー: Stanley)			
型式	GTDW1656JTE-40Z-TR	順方向電圧	3V
発光色	Neutral White	光束	100 lm @350 mA
色温度	4000 K	放射角度	120deg(±60 deg.)
消費電力	1.05 W @350 mA	サイズ	5.0x5.0x1.0 mm
コリメータレンズ(メーカー: AVAGO)			
型式	ASMT-M006	コリメータ角度	6 (deg)

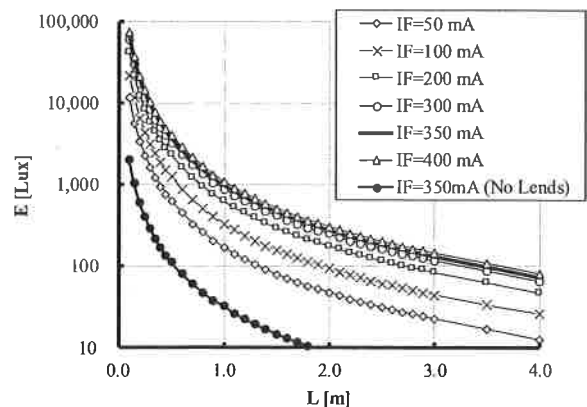


図2 距離と光量の関係

本実験では、LEDにR=1Ωの電流制限用の抵抗器を接続し、駆動電流IFはRの両端電圧Vを測定して、IF=V/Rにて算出した。この結果、IF=300mA以上の時でも、3m以上離れた場所の照

度は100lx程度まで低下する。この条件を、受光器の3m以内に近づかなければ、通信が確立できない条件として利用した。

通信方式は、表2に示すJEITAの通信規格³⁾を参考に、副搬送波の周波数を15kHzとするI-4PPM変調方式とし、F-TYPEに試験・開発用の値[00000000]を用いた。可視光通信波形例を図3に示す。

表2 可視光通信規格

Subcarrier	WaveLength	380-780 nm	
	Frequency	Domain 1	15kHz-40kHz (Tag, System etc.)
		Domain 2	40kHz-1MHz (Undecidedness)
		Domain 3	1MHz- (Multimedia System etc.)
DATA		4.8 kbps	
Modulation		I-4PPM	
Frame structure			
SOF		Payload	EOF
PRE	F-TYPE	ID / DATA	CRC-16
6bit	8bit	128bit	16bit

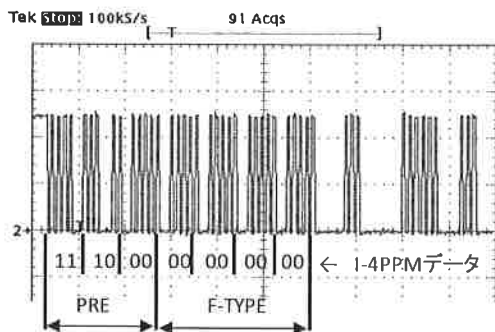


図3 可視光通信波形例

固定端末は、図4に示すフローによって、可視通信で伝送された携帯端末IDを受信した後、病床情報を付加してナースステーション等の管理システムに電波で送信する。なお、PIC1およびPIC2は、ノイズ除去やbit幅調整用の波形整形器として実装した。

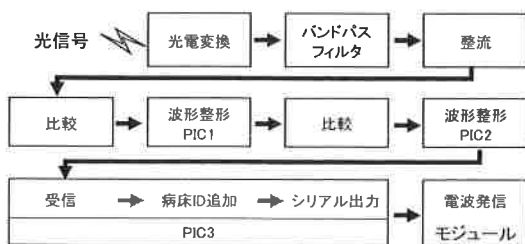
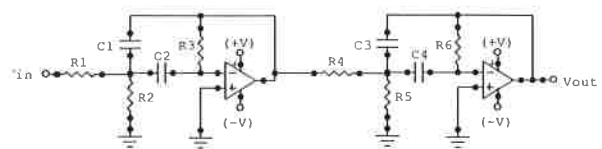


図4 固定端末機の処理フロー

本試作では、光電変換部に浜松ホトニクス社製のフォトダイオードS1133を使用した。固定端末は病床に個別設置するため、使用個数が多くなることから、省電力化を図るため、電源電圧3Vで設計を行った。精度よく伝送信号を抽出するため、バンドパスフィルタ (BPF) は、図5に示す構成とした。



設計項目	設計値	改善値
次数	2	2
Q値	5	0.5
ゲイン	7.09	2
遮断周波数	15.00 kHz	15.00 kHz
・1次フィルタ遮断周波数	13.97 kHz	13.97 kHz
・2次フィルタ遮断周波数	16.10 kHz	16.10 kHz

図5 BPF 構成

試作BPFは、14.5kHz～15.1kHzにピークをもつ特性が得られ、信号抽出が可能と考えたが、可視光通信の伝送仕様である4,800bpsに、15kHzの副搬送波を適用すると、信号処理上、1bitあたりに含まれる正弦波数は3つであり、このフィルタ仕様では過渡現象からの信号抽出が難しかった。また、当初、全波整流回路を用いたが、電源電圧も低く、コンパレータ (比較器) によるbit信号の抽出が難しい状態であった。そこで、本信号処理では、BPFのQ値を0.5、ゲインを2に変更し、かつ半波整流回路により信号抽出を行った。LEDの送信波形と受光器内のBPF通過後の波形例を図6に示す。

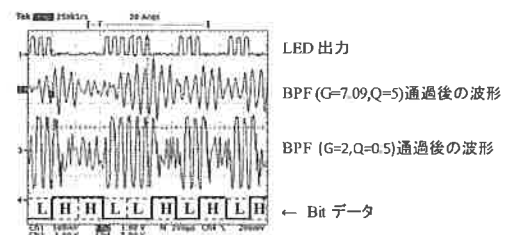


図6 BPF 通過後の波形例

以上の実験等により、通信可能となった本システムの試作機と情報管理確認用の GUI を図7に示す。

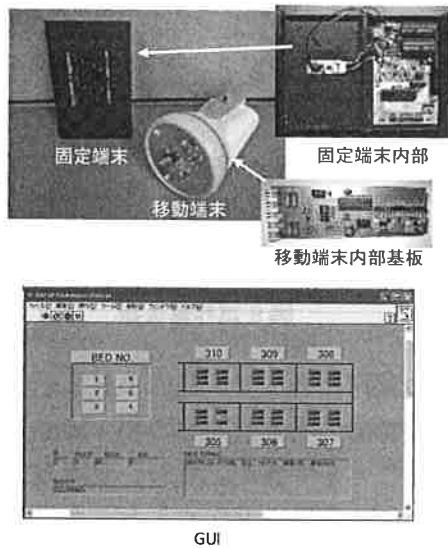


図7 試作機と情報確認用 GUI

3.3 検証

試作機による検証の結果、固定端末の電源電圧を3Vで駆動させたところ、3m程度の通信距離を確保できることを確認した。また、PCによって、巡視時刻、巡視者（移動端末 ID）、病床情報（フロア、部屋、病床 No）をリアルタイムで記録できることも確認した。可視光通信は、遮光時には通信不能となるため、病床に近づかなければ、通信が確立されない特徴と、通信距離が3mの仕様から、信頼性ある巡視システムが構築できるものと考えられる。

今回、固定端末に出力3V仕様の太陽電池を用いて、懐中電灯のLED光で固定端末を駆動させることも試みたが、安定動作するには至らなかった。また、微弱電波の通信範囲は狭く、特定小電力無線の医療用テレメーターと組み合わせた実験も必要と考えている。

4. 「電動車椅子 UI」の試作・検証

4.1 背景

高齢化社会の進展と共に、電動車椅子を新規に利用するユーザも今後は多くなると思われる。電動車いす安全普及協会によると、電動車椅子の単年度出荷台数は、平成12年の35,717台をピークとして減少傾向にあるが、平成25年度までの累積出

荷台数は、63万台を超える。特に、平成12年度以降、ハンドル形の電動車椅子は減少し、簡易形のジョイスティックの出荷台数は変動がない状況である。

（株）コムテック2000は、この電動車椅子のジョイスティック市場に変動が見られない理由を、ハンドルよりも操作性に優れているためと判断した。しかし、肢体不自由な方々にとってジョイスティックが必ずしも最も優れたインターフェースではないと考え、新たなインターフェース技術市場に着目した。そこで、技術シーズである可視光通信技術によって、ボディアクション操作で動かせる、手指操作不要の電動車椅子に関するUI（ユーザインターフェース）を構築すべく、試作・検証を行った。

4.2 コンセプト

本研究開発では、人体や医療機器、電動車椅子へ電磁波ノイズを与える影響が少なく、また電動モータを使用している電動車椅子に対する耐ノイズ性から、可視光通信技術が電動車椅子に対する安全なワイヤレス通信方式と考えた。また、肢体不自由な方が動作可能な部位で操作可能となれば、ユーザが車椅子に合わせるのではなく、車椅子がユーザに合わせるインターフェースが構築できる。そこで、可視光通信技術を活用し、モーションセンサを利用したUIをコムテック2000が主導で研究開発を進めるとともに、北海道立工業技術センターでは光の位置検知を利用したUIの検証を主に実施しながら、電動車椅子UIの要素技術の研究開発を行った。

4.3 試作

本試作検証で使用する電動車椅子には、外付け操作機器とのI/F（インターフェース）を持ち、制御仕様等の技術情報も提供頂いた、（株）今仙技術研究所の電動車椅子を使用した。

はじめに、STMicroelectronics社のモーションセンサのSTM32F3DISCOVERYと、コムテック2000社の可視光通信モジュール（既存品）を使用し、モーションセンサの信号が可視光通信で伝送できるかの動作確認実験を行った。モーションセンサ動作確認実験の概要を図8に示す。



図8 モーションセンサ動作確認実験概要

動作確認実験の結果、SPI,I2C,GPIO等のI/F上の通信エラーもなく、センサの情報を可視光通信でPCに伝送できることを確認した。次に、モーションセンサを人が装着して操作することを前提に、可視光通信モジュールの小型化を図った。確認実験に使用したモーションセンサのサイズは、約65×100mmである。送信機は、普段から身につけても煩わしくない寸法が好ましいため、寸法は腕時計サイズを目標とした。小型化を実現するため、ダウンスペックについて検討した結果を表3に示す。

表3 スペック検討表

	動作確認実験仕様	ダウンスペック仕様	変更理由
通信方向	双方向	単方向	人(モーションセンサ)→車椅子方向のみで利用するため。
通信速度	16Mbps	1kbps以下	人の動きは一般的な伝送速度に比べると、緩慢である。また、移動方向等の伝送情報が限定的であり、伝送データ(コマンド)も短くてよい。
実装	16QAM	1rDA基準 (光通信:赤外線仕様)	回路構成が簡単。
可視光通信部 CPU	FPGA XC3S400-4TQ144C (144pin/QFP)	PIC PIC16F886 (28pin/QFN)	組み込みソフトウェアが簡単。 パッケージが小さい。

また、モーションセンサモジュールを人が装着する際、接触面の面積が大きくなると、動作しづらくなる可能性があるため、センサ・LED基板とARM・PICマイコン基板をそれぞれ製作する

2段構造とした。そして、ARM,PICマイコンの書き込みに必要な周辺回路を別基板にすることで、更に小型化を図った。以上の検討結果を元に、小型化を図った送信モジュール基板類を図9に示す。

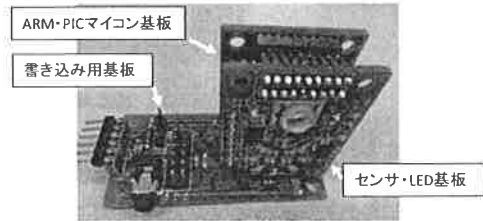


図9 試作基板類

今回の試作によって、送信モジュール基板サイズは、腕時計の文字盤同等の40×30mmまで小型化を図ることができた。なお、変調方式の変更に伴って、復調回路を試作するとともに、コマンドを解析して電動車椅子に制御信号を送る受信モジュールも試作した。

これらと並行して、可視光の照射位置を検知する光位置検知技術についても試作を行った。使用した電動車椅子メーカーの今仙技術研究所では、ジョイスティックが扱いづらい利用者のために、8方向スイッチによるコントローラも用意されている。そこで、このコントローラのスイッチボードを参考にボタンの位置にフォトダイオードを設け、LED光が特定の位置に照射された場合に、その位置に従った動きをする構造とした。試作回路のブロック図10に示す。

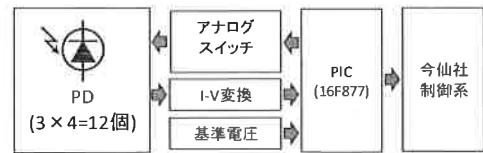


図10 試作回路ブロック図

試作回路では、8方向以外にも利用できるように、予備ボタンを付加し、計12個の汎用フォトダイオード(型式:SFH299)とアナログスイッチおよびPICマイコンを使用した。また、環境光検知用のフォトダイオードも設置することを想定し、本回路では、トリマによる基準電圧を設けている。本回路では、マトリクス状に配置したフォトダイオードの電流出力を抵抗器によって電圧変換し、順次変換電圧をADCに入力し、記録する。

環境光検知電圧よりも電圧値が高い検知位置の中で、最も高い電圧入力があったフォトダイオードの位置を操作対象と判断し、位置に応じた方向に電動車椅子が動く制御方法とした。

4.4 検証

試作した可視光通信の送受信機を図11に、可視光位置検知機を図12に示すように設置し、UIのユーザビリティ評価を行った。

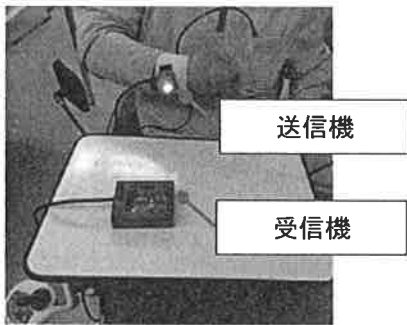


図 11 可視光通信機器の設置状況



図 12 可視光位置検知器の設置状況

電動車椅子は、モーションセンサでユーザの動きを感知した送信機が可視光通信にて受信機に情報を伝達した後、その操作コマンドをメカの多様入力コントローラに伝達することで、動作する。今回実施したユーザビリティ評価例を表4に示す。

表 4 ユーザビリティ評価例

評価項目	確認内容	結果	判定	
可視光通信 (情報伝達)	装着方法	送信機	リストバンド型を装着	装着可能 ○
		受信機	帽子型を装着	装着可能 ○
	操作性	受信機	電動車椅子に設置	設置可能 ○
		基本動作	前進・後進等	設計通りに動作 ○
		操作性	送信機の傾斜に合わせて電動車椅子が動作するか	シンプルで理解しやすい ○
		ボディアクションの応答	動かしたい時に動くか	数ミリ秒で反応する ○
安全性	ボディアクションの伝達性	通信が確立しやすいか	受光部との光軸一致を要するため、LEDや受光部の個数・配置の検討が必要 △	
	安全性	誤作動なく、スムーズな動作・停止が可能か	伝達性に依存 △	
可視光位置検知	操作性	基本動作	前進・後進等	設計通りに動作 ○
		操作性	照射位置に合わせて電動車椅子が動作するか	環境光の調整を要する △
		応答性	動かしたい時に動くか	数ミリ秒で反応する ○
		伝達性	通信が確立しやすいか	受光部との光軸一致を要するため、LEDや受光部の個数・配置の検討が必要 △
	安全性	安全性	誤作動なく、スムーズな動作・停止が可能か	環境・伝達性に依存 △

可視光通信および位置検知の I/F 技術は、基本機能は満足するが、通信が確立していることが前提となる。今回、電動車椅子を実際に動作させて検証してみたが、可視光の高い指向性から、健常者では通信を確立させることができて、肢体不自由な方には難しいと判断された。

本研究開発では、可視光通信と位置検知技術により、電動車椅子を制御する基盤技術を構築した。今後は、LED や受光部の個数・配置等を検証し、通信を確立しやすくすることで、操作性・安全性を向上させる技術開発を進めていく。

5. おわりに

本研究開発では、可視光通信技術の医療・福祉分野での適用性について、試作検証を行った。

夜間巡視支援システムとしては、懐中電灯に通信機能を持たせ、巡視しなければ通信できないネットワーク網であり、可視光通信の特徴を信頼性に活かした技術開発といえる。将来的には、膨大なデータが伝送される医療機関のネットワーク網とは異なるサブネットワーク網の構築も可能と考えるが、電波や有線等のネットワーク網との併用が実用的と考える。

電動車椅子の UI としての可視光通信技術は、EMI の観点から優れた通信手段であるが、通信確立手法に課題を抱える。また、位置検知技術については、環境光の影響についても十分に配慮する必要がある。

医療・福祉施設で利用される機器には、高い信頼性が要求される。可視光通信技術が、無線技術として十分な機能を発揮するには、今後通信確立技術を開発していくことが必要である。

謝 辞

本研究開発の夜間巡視支援システムについては、(独) 科学技術振興機構 研究成果展開事業「A-STEP フィージビリティスタディ 探索タイプ」による成果である。電動車椅子の UI については、経済産業省平成24年度補正「ものづくり中小企業・小規模事業者試作開発等支援補助金」による成果である。関係各位に感謝する。

参考文献

- 1) 中川正雄監修、可視光通信コンソーシアム編：
可視光通信の世界（工業調査会）、(2006)
- 2) 例えば、春山真一郎：可視光通信、電子情報
通信学会誌 Vol.94、No.12、(2011)、P1055～
1059
- 3) 例えば、CP-1223 可視光ビーコンシステム：
JEITA、(2013)