

ソフト RZ 方式を用いた業務用空調ネットワーク高速化の検討

町田芳広^{†1} 杉山由一^{†1} 尾崎友哉^{†1} 山本裕二^{†2} 齊藤慎也^{†2}

概要: 従来、産業機器に用いられる通信方式は、制御、監視を目的としているため、低速の通信方式で十分であった。しかしながら、近年では、機器から取得可能な情報をもとにしたシステム運用の最適化や予兆検知等の IoT 活用が取り組まれ、通信の高速化が望まれている。産業機器は、機器のライフサイクルが長期に亘るため、一度にすべての機器を置き換えることが難しい。このため、今後の IoT 活用に向けては、既設装置からのコスト増を抑えるとともに互換性(後方互換性)を確保し、通信を高速化することが課題である。本稿では、ソフト処理により伝送ビットパターン変換を行うソフト RZ 方式を用い、異種通信速度を同一通信網に共存させることで、既設装置と互換性のある高速化方式を開発した。空調システムへ適用し、その効果を検証したので検証結果を示す。

キーワード: 空調システム, ベースバンド信号, AMI, RZ, NRZ

Study of Commercial Air-Conditioning network speedup utilized software RZ method

YOSHIHIRO MACHIDA^{†1} YOSHIKAZU SUGIYAMA^{†1}
TOMOCHIKA OZAKI^{†1} YUJI YAMAMOTO^{†2} SHINYA SAITO^{†2}

Abstract: Conventionally the network of industrial equipment were used for controlling and monitoring, thus communication speed was enough by low speed. Although recently system operation optimization and predictive detection are tried by utilized IoT. It needs data from equipment and desires high speed communication. Industrial equipment has long life cycle time, so it is difficult to replace everything at one time. It is important to have backward compatible high speed method by low cost for future IoT utilization.

In this paper, we explain software RZ method which converts transmission bit pattern and realize to co-exist different communication speed equipment.

We report evaluation result adopt to Air-Conditioning system.

Keywords: air conditioning system, baseband signal, AMI, RZ, NRZ

1. はじめに

ブロードバンドネットワーク、IT リソースの普及と低廉化を背景に、様々な機器がインターネットに接続され新たな価値の創造にむけた「モノのインターネット (Internet Of Things)」への関心が高まっている[1].

従来、商工業分野で用いられる産業機器は、オフィスビルにおける照明機器、空調機器や、プラント設備における各種センサなど、複数の機器を一括で制御、監視するためにネットワークを用いることが主流であった。このため、送受信する情報量も少なく、低速の通信方式で十分であった。しかし、設備の最適制御や省エネ制御、機器動作データを用いた予兆検知等、産業機器における IoT 活用の取組みが行われている[2].

ビル、オフィス環境に設置される産業装置である業務用空調においても、IoT 活用の流れから各種センサを活用した快適性向上、運転データを活用した機器監視機能等の高

機能化を進めており、扱う情報が多様化、増加している。このため、空調機ネットワークの伝送帯域が限界に近づいており、今後の更なる機能向上には伝送速度の向上が課題である。さらに、空調装置は設置から交換までのライフサイクルが長期に亘るため、一般的に既設装置と新設装置が混在しながら運用される。

本稿では、業務用空調システムの高度化を図るため、空調ネットワークの高速化を目的とする。

2. 先行研究

通信の高速化には、データ伝送に用いる搬送波の高速化が課題である。

ベースバンド伝送方式における事例では、車載制御通信に用いる CAN のデータフレームを高速化する CAN-FD において、FPGA を用い伝送路符号の短パルス化、重み付け多数決パルス整形方式を用い、高速通信時のパルス判定精

^{†1} (株)日立製作所
Hitachi Ltd.

^{†2} 日立ジョンソンコントロールズ空調(株)
Hitachi-Johnson Controls Air Conditioning, Inc.

度を向上する方式[3]が提案されている。

デジタル変調方式における事例では、配電線を利用する電力線通信の高速化において、マルチキャリア通信技術 OFDM を応用し、既存狭帯域モデムとの共存を図る方式[4]が提案されている。

先行研究では新規ハードウェアを追加することにより高速化を実現している。本研究では、これらの先行研究を踏まえ、業務用空調ネットワークを対象に、新規ハードウェアを用いず、既設装置との互換性を確保しつつ高速化を図る方式を検討した。

3. 業務用空調ネットワーク高速化の検討

3.1 空調システムの特徴

空調システムの動作、ネットワークの特徴を図 1 を用い説明する。空調システムは、室外機と室内機により構成され、一例をあげると、各室内外機は冷媒を用いた熱エネルギーの移動を最大 200m の冷媒配管で接続されるとともに、通信線で接続される。複数の冷媒系統を接続する場合、最大で 1000m の通信線で接続される。

各室内機は、個々の熱負荷と目標温度を室外機に送信し、室外機は室内機から収集した熱負荷と目標温度をもとに外気との熱交換を行う。さらに、室内機にはリモコンが備わり、ユーザ操作の情報が非定期的通信として、室外機に送信される。すなわち、空調システムは室内機、室外機の各々が情報の送信元、受信先の双方向の通信機能を持つ。また、送受信する情報は動作状態や負荷情報を示すセンサ情報、ユーザ操作にもとづく目標温度等である。このため、空調制御に用いる 1 電文あたりのデータ量は少ないが、近年、冷媒配管で接続される 1 冷媒系統単位ごとの装置増、センサ種別増に伴い、現行ネットワーク帯域の限界に近づいている。

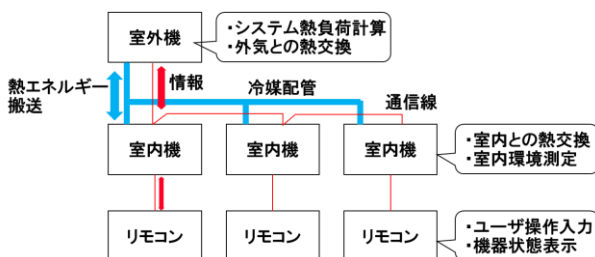


図 1 空調システム

Figure 1 Air-Conditioning System.

今後は、予兆診断等の付加価値向上を目的としたセンサ精度精緻化、不具合対応や機能更新を目的としたファームウェア更新機能への対応等にむけ、さらなるデータ量の増加が見込まれる。そのため、通信の高速化が急務となっている。

3.2 後方互換性をもつ高速化の検討

空調システムのライフサイクルは、およそ 15 年以上と報告[5]されており、保守や交換等により既設装置と新規設置装置が混在運用されることが多い。

そのため、通信を高速化するには、すべての機器を一度に置き換えることは難しく、低速の既存装置と、高速通信にも対応した新規設置装置が混在する環境に対応できるようにする必要がある。また、産業機器はコストの競争が厳しいため、コストの増加は極力抑える必要がある。よって、通信の高速化方式は、下記の要件を満たす必要がある。

- (1) 要件 1: コスト増加を防ぐため、新たなハードウェアを必要としない
- (2) 要件 2: 高速通信のデータにより、既存装置が誤動作しない
- (3) 要件 3: 既存方式の通信速度(9.6kbps)と比較し、10 倍高速化

3.2.1 既存方式

既存方式の通信機能ブロック構成を図 2 に示す。

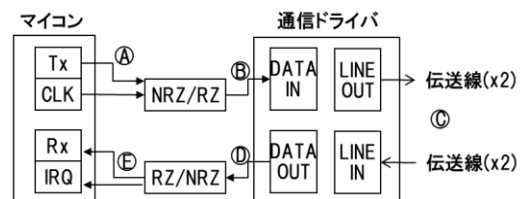


図 2 通信機能ブロック(現行)

Figure 2 Communication Block (Existing).

通信機能ブロックは、マイコン、波形変換回路である NRZ/RZ ブロック、通信ドライバにより構成される。送信信号は、マイコンの UART(Tx)から NRZ/RZ ブロックに入力され、CLK 信号を元に NRZ(Non-Return-Zero)符号から RZ(Return to Zero)符号に変換される。変更された RZ 符号は送信ドライバを経由し、伝送線に出力される。受信はこれと逆の処理が行われる。図 2 の(A)から(E)における信号波形を図 3 に、伝送信号仕様を表 1 に示す。

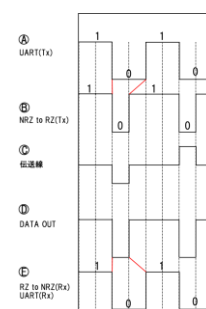


図 3 信号波形(現行)

Figure 3 Signal Waveform (Existing).

表 1 空調ネットワーク伝送仕様

Table 1 Air-Conditioning Network Transmission specification

通信規格	ET-2101[6]
伝送信号	差動信号
伝送速度	9.6kb/s
符号化形式	AMI, 50%デューティ
同期方式	調歩式
アクセス制御方式	CSMA/CD
フレーム構成	START(1bit)+DATA(8bit)+ PARITY(1bit)+STOP(1bit)

伝送仕様は調歩同期方式のため、All'0'や All'1'のように同一ビットが連続すると信号波形が'HIGH'あるいは'LOW'が連続し、パルスを誤判定する可能性がある。このため、AMI, 50%デューティで符号化し、'HIGH', 'LOW'が連続しない仕様となっている。図 2 に示した NRZ/RZ ブロックが、この処理を行っている。

3.2.2 提案方式

本提案方式は高速化を図るために、既存装置の低速通信と新規設置装置が対応する高速通信を排他的に時分割で行う。新規設置装置は低速通信と高速通信の双方に対応し、既存装置との通信にも対応する。

(1) ソフト RZ 方式の原理

提案方式であるソフト RZ 方式の原理を図 4 に示す。

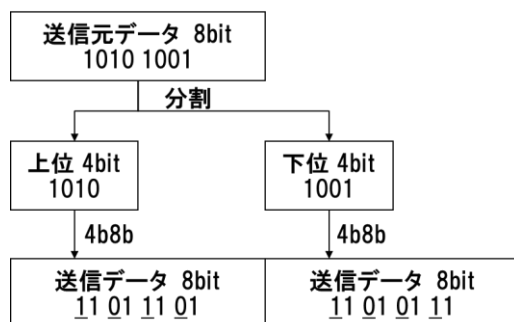


図 4 ソフト RZ 方式の原理

Figure 4 Principle of software RZ method.

現行方式における NRZ/RZ ブロックは、現行装置通信仕様の 9.6kbps 向けに設計した回路のため、高速通信には適用できない。このため、ソフト処理により送信元データを UART の 1 フレームに対応する 8bit 単位で上位、下位の 4bit ずつに分割し、各 4bit に対し、'LOW'状態が連続しないよう '1' を挿入する NRZ/RZ 変換方式を採用する。本方式を用いることにより、新たな回路を設けることなく、ソフトウ

ェア処理のみで NRZ/RZ 変換が可能であり、所望の空調通信速度に対する 2 倍値の UART 速度を用いることで、任意の通信速度に対応することが可能となる。

(2) 異種通信速度に対応する通信ブロック

次に、既設置装置と同じ通信網に接続した場合の通信速度切替方法について説明する。

通信電文フォーマットを図 5 に示す。

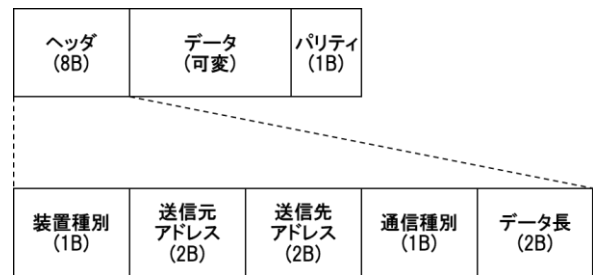


図 5 通信電文フォーマット

Figure 5 Communication Packet format.

通信電文は、固定長ヘッダ、可変長データ、パリティの構成となっている。固定長ヘッダにはアドレス情報、データ長の他に装置情報、通信情報の種別を示す値が記載されている。未定義の値が記載されている場合、既存装置は無視する仕様となっている。そこで、既存装置では未定義となっている値を通信速度切替のトリガとして扱うプリアンブル方式を採用する。プリアンブルによる通信速度変更は、IEEE802.11 等で用いられている[7]。ヘッダ部は既存方式の通信速度で送信し、データ部のみ高速方式で送信する。提案方式を用いた装置は既存方式の通信速度でデータを待ち受け、ヘッダ部に記載された通信速度切替のトリガを受信すると高速方式に切替、高速方式で送信されるデータ部を待ち受け、受信する。高速方式で送信されるデータ部すなわち、高速方式の通信電文フォーマットは、連続して複数の電文を送受信可能なように現行方式同様、ヘッダ部、データ部、パリティの構成をとる。

提案方式の通信機能ブロック構成を図 6 に示す。

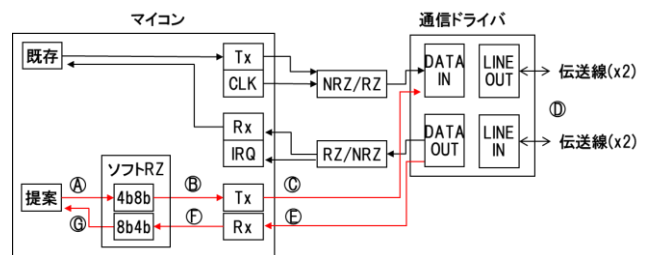


図 6 通信機能ブロック (提案方式)

Figure 6 Communication Block (Proposal).

既存方式のブロック構成に加え、マイコン内のソフトウ

エア構成として、提案方式通信を行うブロック、4b8b変換を行うソフト RZ ブロックを新たに加える。本構成により、既存方式の通信と提案方式の双方の通信方式に対応可能であり、既設置と混在する空調ネットワークにおいても、相互通信が可能である。なお、本構成においては、マイコンの UART を既存通信用途、提案方式による通信用途、それぞれ専用を用いる計 2 ポートの構成としたが、スイッチ等により外部 NRZ/RZ ブロックをバイパスする構成をとれば、1 ポートで構成することも可能である。

図 6 における入出力および信号波形を図 7 に示す。

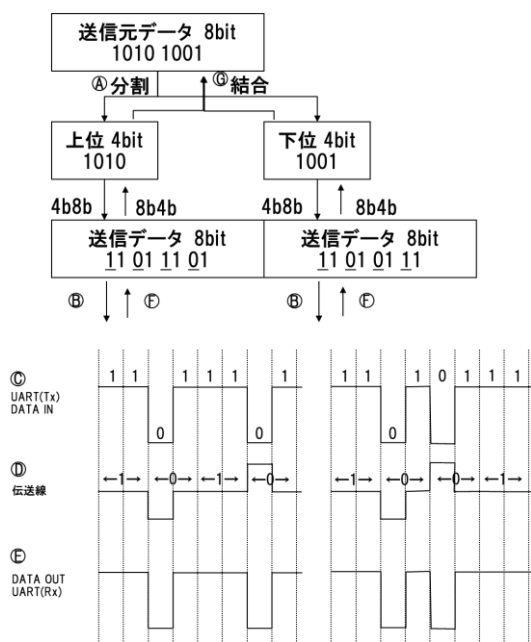


図 7 入出力及び信号波形(提案方式)

Figure 7 Input/Output and Signal Waveform (Proposal).

(3) 既設置装置キャリアセンス課題への対応

既存装置と提案方式を採用した装置が混在する環境におけるキャリアセンスに関する課題を表 2 に示す。

表 2 混在環境における課題

Table 2 Issue of mixed environment

通信状態	既存装置動作	提案装置動作
既存速度 通信中	○ 既存速度による CSMA/CD	○ 既存速度による CSMA/CD
高速 通信中	× CSMA 不可	○ 高速速度による CSMA/CD

既存方式は受信信号をマイコンの割り込みポートに入力し、信号の立下りエッジをキャリアセンスに用いている。既存方式の RZ/NRZ ブロックは 9.6kbps の速度向けに設計

されており、RZ 符号である 50% デューティ AMI 信号の 1 シンボルを UART 向け NRZ 符号の波形に伸長する。伸長回路の伸長期間は 38us 固定であり、通信速度が高くなるとシンボル間の期間が短くなることにより、伸長期間が重複し 'LOW' 信号状態が継続する。'LOW' 状態が継続すると、信号の立下りが発生しないため、既存装置はキャリアセンスを行えない。

図 8 から図 10 に通信速度 10kbps, 38kbps, 40kbps の通信信号を既存装置に入力した測定波形を示す。各図における波形は上から DATA IN(Tx), AMI 信号(Pos), AMI 信号(Neg), AMI 信号(Pos/Neg 差分), UART(Rx) である。

10kbps においては DATA IN(Tx) と UART(Rx) は、ほぼ 2 倍の関係となっているが、高速になるにつれ UART(Rx) の 'LOW' 期間が伸びていることがわかる。UART(Rx) の立下り信号が観測できる上限は 38kbps が上限であり、40kbps では全期間 'LOW' となるため立下り信号による割込みが発生せず、既存装置は高速通信が行われている際にキャリアセンスができない。

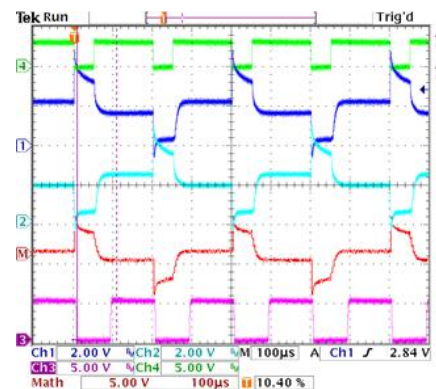


図 8 測定波形 10kbps

Figure 8 Measurement waveform 10kbps.

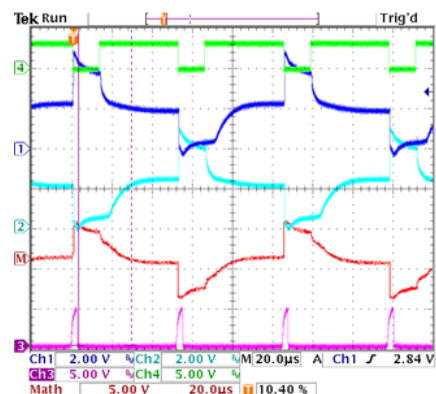


図 9 測定波形 38kbps

Figure 9 Measurement waveform 38kbps.

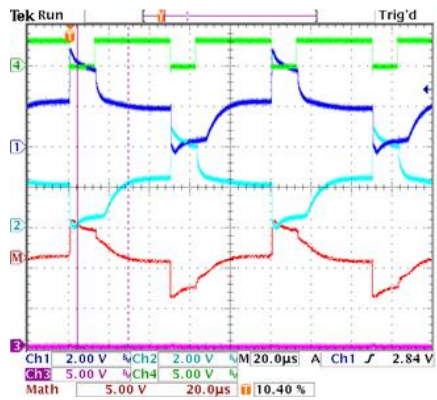


図 10 測定波形 40kbps

Figure 10 Measurement waveform 40kbps.

上記課題を解決するために、高速信号送信時は定期的な一定の High 期間を送信する方法を考案した。具体的には、高速信号を送信する始めとキャリアセンス仕様の 10ms ごとに、UART(Tx)で 40us 以上の期間、連続で '1' を送信させ、波形伸長回路出力を H レベルへ復帰させる。図 11 に概念図を示す。

本方式では 40us の連続 '1' 期間を UART の 1 フレームで構成するため、最大 200kbps、ソフト RZ 方式における空調通信速度 100kbps が最大となる。

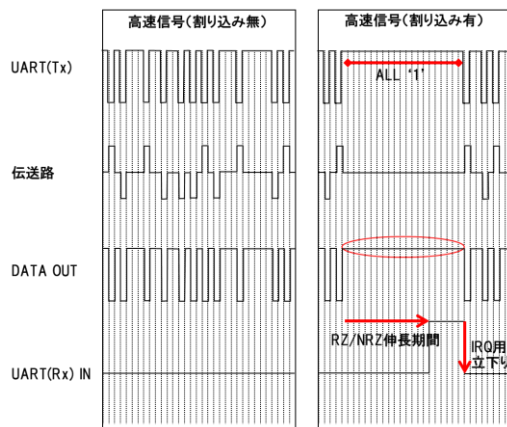


図 11 割り込み通知機能

Figure 11 Force Interrupt method..

4. 評価

4.1 提案方式通信ブロックの高速性能評価

図 2, 図 6 に示した通信ドライバ IC の高速信号駆動性能、および速度切替反応時間の測定を行った。

図 12 から図 16 に高速信号駆動時の波形, 図 17, 図 18 に速度切替時の波形を示す。

高速信号駆動の評価には、各周波数に対する 1bit 期間の HIGH/LOW レベルが 80%以上であれば判定可能であると設定した。ドライバ IC は 200kbps までは、DATA OUT 期間の HIGH/LOW が仕様値の 80%以上であるが、400kbps では

約 70%に低下するためレベル判定は不可である。

速度切替反応時間は、9.6kbps から 100kbps への切替、その逆ともに約 350us で切替可能であることを確認した。現状のキャリアセンス期間は 10ms であるので十分に短い期間での切替が可能であることを確認した。

以上より、新たなハードウェアを用いずとも、既存方式の通信ブロックは 10 倍以上の高速化が可能である。

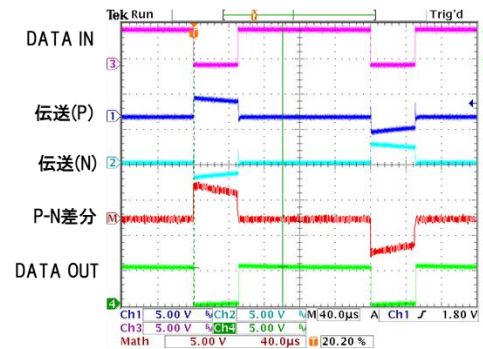


図 12 測定波形 10kbps

Figure 12 Mesurement waveform 10kbps.

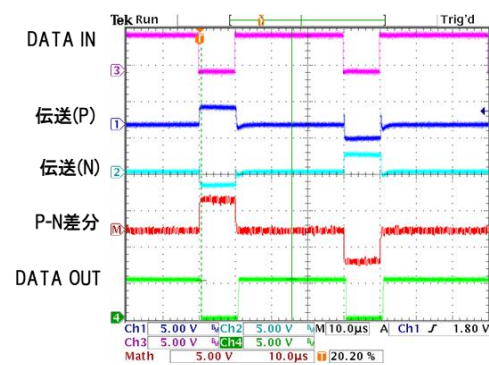


図 13 測定波形 50kbps

Figure 13 Mesurement waveform 50kbps..

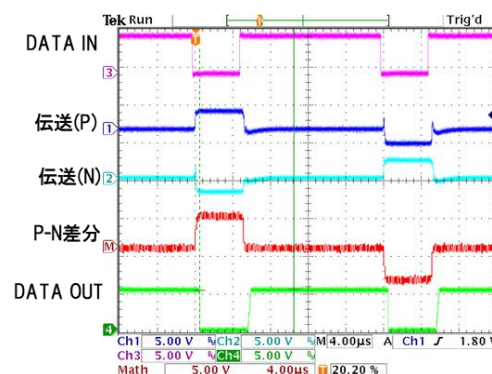


図 14 測定波形 100kbps

Figure 14 Mesurement waveform 100kbps.

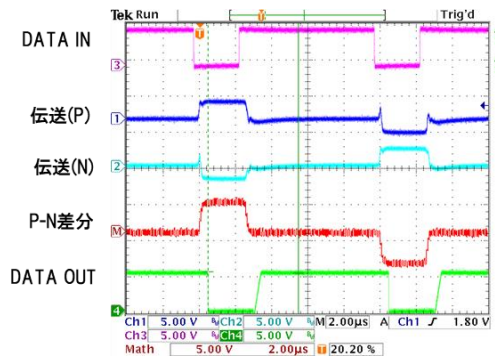


図 15 測定波形 200kbps

Figure 15 Measurement waveform 200kbps.

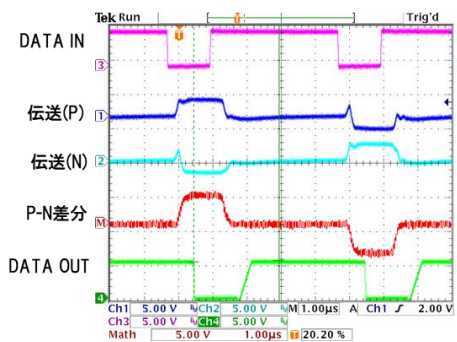


図 16 測定波形 400kbps

Figure 16 Measurement waveform 400kbps.

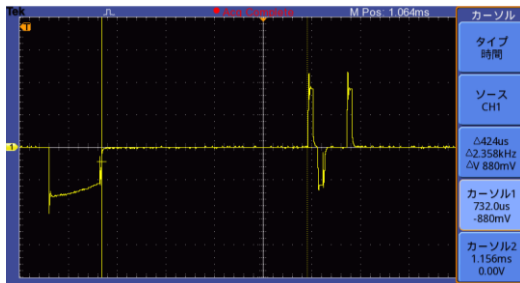


図 17 測定波形 9.6/100kbps

Figure 17 Measurement waveform 9.6/100kbps.

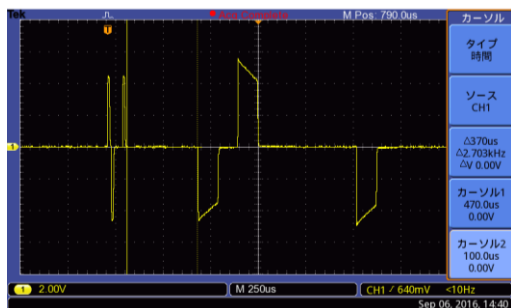


図 18 測定波形 100/9.6/100kbps

Figure 18 Measurement waveform 100/9.6/100kbps.

4.2 キャリアセンス割り込み機能の評価

高速通信時に既設置のキャリアセンスができない課題に対する割り込み通知機能の評価を行った。装置構成は、図 6 で示した提案方式の機能ブロック試作装置から高速信号を用い、連続データの後に強制割り込み用の ALL'1'データを送信し、図 2 で示した既存方式の装置で受信した DATA IN の立下り、立ち上がり観測できることを確認した。図 19 に測定波形を示す。本機能により、既設置と提案方式の装置が混在する環境において、提案方式による高速通信が行われている期間においても、既設置のキャリアセンスが可能であり、誤動作を引き起こさない。

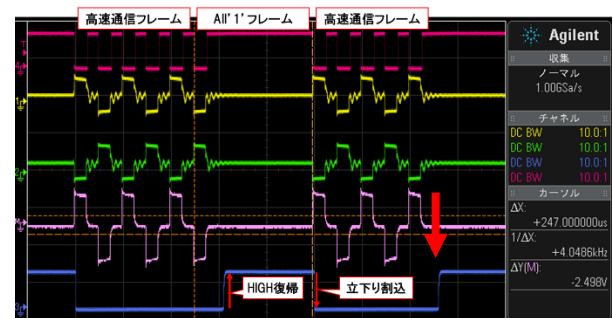


図 19 測定波形 40kbps

Figure 19 Measurement waveform 40kbps.

4.3 波形短縮率にもとづく伝搬距離の評価

提案方式の伝送距離評価にあたり、実機検証と波形短縮率にもとづいた理論値計算を行った。

実機検証には、線長 1000m, 500m の 2 種を用い、タップ数 9, 15 の疑似ランダム符号を用いた対向送受信ビットエラー測定を行った。本実験においてはエラーが発生せず、適切な評価を行うことができなかった。

このため、伝送ケーブルの波形短縮率をもとにした伝送可能距離算出を行った。

電波が伝送線を伝わる速度は下記式で表される[8].

$$\lambda = \frac{300 \times 10^6 [m/s]}{f [Hz]} \times R$$

ここで、R は伝送線の波長短縮率であり大きくなるにつれて、信号が空間を伝達する速度よりも遅くなる。業務用空調ネットワークに一般的に用いられる VCTF ケーブルの波長短縮率は 0.6 である。

伝送線を集中定数回路として扱い最大線長を求めるには、伝送線長が $\lambda/4$ より短い必要がある。ソフト RZ を用いた疑似 AMI 信号は、データ伝送周波数の 2 倍の周波数を用いることになる。本提案による通信方式を用いた際の線長と伝送速度の関係を図 20 に示す。

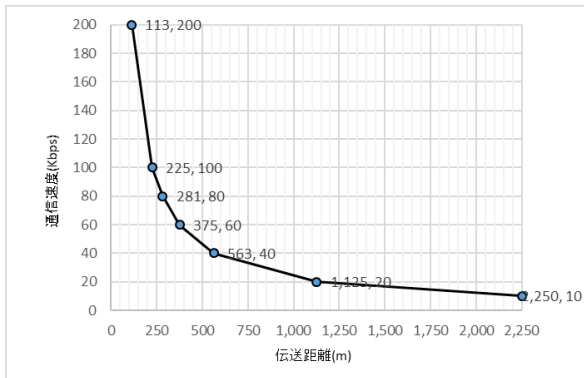


図 20 線長と伝送速度

Figure 20 Cable distance and transmission speed.

既存装置の通信速度仕様である 10kbps 近傍の場合、2000m 超の線長まで集中定数回路として扱え、空調通信の最大線長仕様 1000m を満足する。

一方、最大線長 1000m に対し、高速化可能な速度は 20kbps となり、目標値の既存方式比 10 倍(100kbps)には届かないが、冷媒配管の最大長 200m の場合、高速化可能な速度は 100kbps となり、目標値を満足する。

以上より、1 冷媒系統で構成される空調システムに対し、目標値を満足する見込みである。複数の冷媒系統に跨り構成される空調システムに対しては、1 冷媒系統ごとにネットワークを独立構成とし、冷媒系統跨りのネットワークと分離する構成をとることにより目標値を達成することができる。

5. まとめ

業務用空調システムを対象に、ソフト RZ を用いた符号化、速度切替に対応する通信データフロー、既設置のキャリアセンスに対応する割り込み通知機能により、新たなハードウェアを追加することなく、後方互換をもち通信速度を向上する方法を示した。

また、ソフト RZ 方式はマイコンの UART 通信速度を変更することにより、線長に合わせて最適な通信速度を用いることも可能である。線長に対応した速度変更により、空調制御に加え様々な情報収集への活用が望める。

今後は、空調装置に搭載されるインバータや設置環境特有のノイズ等の課題を調査し、実環境における適用検討を進める所存である。

参考文献

- [1] 「みずほ産業調査(IoT の現状と展望)」,みずほ情報総研, 2015.08.28.
- [2] 「新産業構造ビジョン～第 4 次産業革命をリードする日本の戦略～中間整理」, 産業構造審議会新産業構造部会, 2016.04.27.
- [3] 新田慎吾, 梅原大祐, 水間源季, 若杉耕一郎「短パルス伝送路符号による CAN の高速・大容量化」. 電子情報通信学会

論文誌 B Vol. J99-B No.3 P193-205, 2016.

- [4] 松本渉「マルチキャリア通信技術を応用した分散トーン方式による電力線モデム通信方式」電子情報通信学会論文誌 B Vol. J84-B No.1 P38-49, 2001.
- [5] 鈴木道哉, 岡建雄, 岡田圭史, 矢野謙禎. OSI の「産業連関表による建築物の評価」. 日本建築学会論文集, 第 476 号, 37-43, 1995.
- [6] EIAJ 規格「ホームバスシステム」ET-2101, (1988-9).
- [7] 守倉 正博, “改訂三版 802.11 高速無線 LAN 教科書”, インプレス R&D, 2008/3
- [8] 「ダイナミック・ハムシリーズ 5 アンテナ・ハンドブック」CQ 出版, 1986.