

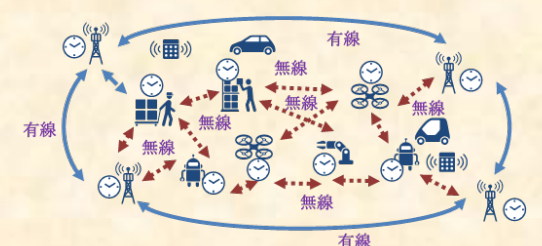
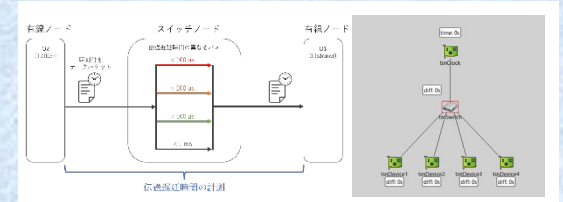
1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆研究開発課題名 高精度時刻同期に基づく超低遅延デジタルツイン処理基盤の研究開発
- ◆受託者 日本電気株式会社、株式会社スペクトラ
- ◆研究開発期間 令和4年度～令和5年度 (2年間)
- ◆研究開発予算 (契約額) 令和4年度から令和5年度までの総額450百万円 (令和5年度200百万円)

2. 研究開発の目標

- 時刻同期:2024年3月までに、有線NWを介して隣接する時刻ノード間の時刻同期精度が30 ps以下となることを実証し、無線NWを介して隣接する時刻ノード間についても、オフセット低減プロトコルの実証を完了する。2026年3月までに、有線NWを介して隣接する時刻ノード間の時刻同期精度を30 ps以下とする。また、無線NWを介して隣接する時刻ノード間同期については、無線電波の周波数や無線通信方式に依存するものの、複数方式で数百ns以下に抑える。
- データ連携:2024年3月までに、伝送遅延の異なるパスを用意したスイッチノードの機能検証を完了する。2026年3月までに、デバイス情報データがフィジカル空間からサイバー空間に到着するまでの伝達時間を1 ms以下とし、かつ到着時刻を30 psオーダーで計測できることを目標とする。更に、時刻スケジューラ通りにデータが送信されていることと、優先制御が必要なパケットについては、伝達時間が100 μ s以下となることを目指す。

3. 研究開発の成果

①有無線シームレス時刻同期	研究開発目標	研究開発成果
<p>ネットワークポロジーが変化し得る有線/無線ノードの混在した系に対してシームレスに適用可能かつ高精度な時刻同期プロトコルの開発</p>  <p>1-a) 有線/無線互換型時刻同期システムの研究開発</p> <p>1-b) 無線時刻同期プロトコルの研究開発</p>		<p>研究開発成果:1-a) 有線/無線互換型時刻同期システムの研究開発 IEEE1588-2008に基づくPTP(Precision Time Protocol)では、時刻計測精度がシステムクロック周波数125 MHzの逆数(8 ns)で制限されることが課題。 ●有線時刻同期カード間の時刻差計測/補正可能な有線ノードを用い、FPGAによるD-DMTDの機能実証を実施、30 ps以下の有線時刻同期を実証。</p> <p>研究開発成果:1-b) 無線時刻同期プロトコルの研究開発 無線時刻同期プロトコルは有線と異なり国際勧告化されていないため、独自に研究開発する必要があることが課題。 ●独自に開発したPDVフィルタによる時刻オフセット低減技術を実証。スレープから見たマスターとのオフセット時刻差が1.5 μs程度に抑えられることを実証。</p>
<p>②時刻・データ連携処理</p> <p>有無線高精度時刻同期のシステム実証及びそのプロトコルの最適化</p>  <p>2-a) 時刻に同期したデータ通信の研究開発</p> <p>2-b) 時刻・データ連携処理最適化プロトコルの研究開発</p>		<p>研究開発成果:2-a) 時刻に同期したデータ通信の研究開発 研究開発項目1-a)、1-b)で開発された時刻同期プロトコルを実証するため、専用のスイッチノードを開発し、時刻同期されたノード間でデータ伝送のシステム実証を行う。 ●伝送遅延の異なるパスを4本(100 μs以下、200 μs以下、500 μs以下、1 ms以下)用意し、優先度に応じて伝送遅延の異なる4本のパスにデータを振り分けることで、高優先度のデータを低遅延で送信可能なスイッチノードの機能検証を行った。最優先パスでの送信遅延が1 ms以下であることを確認した。</p> <p>研究開発成果:2-b) 時刻・データ連携処理最適化プロトコルの研究開発 ネットワークのトポロジー等が変動する系を対象とした時刻・データ連携処理プロトコルを開発する。 ●合成時刻に基づく同期シミュレーションを行い、マスターと他ノードが同程度に安定なクロックを搭載している場合には、従来手法と比較してよりロバストな同期状態を維持できることを示した。</p>

4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	標準化提案・採択	プレスリリース報道	展示会	受賞・表彰
1 (1)	0 (0)	0 (0)	1 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)

※成果数は累計件数、()内は当該年度の件数です。

これまで得られた成果に関するアピールしたい点、トピックス

- (1) 有無線シームレス時刻同期システム技術に関して、時間軸上のバーニアスケール(システムクロックの補助目盛となる副尺クロックを用いる方式)に基づき時刻差情報を高精度かつロバストに計測する「レーシングポイントモニタ型バーニアスケール方式」などの機能検証を完了した。
- (2) 上記方式により、有線ノード間の時刻差計測/補正精度が30 ps以下となることを確認できた。また、無線時刻カードに実装される無線時刻同期アルゴリズムに含まれるPDV(Packet Delay Variation)フィルタの機能検証を行い、スレーブから見たマスターとのオフセット時刻差が1.5 μs程度に抑えられることを確認できた。
- (3) 時刻同期したデータ通信の実証のための、伝送遅延の異なるパスを4本(100 μs以下、200 μs以下、500 μs以下、1 ms以下)用意したスイッチノードの機能検証を完了した。優先度に応じて伝送遅延の異なる4本のパスにデータを振り分けることで、高優先度のデータを低遅延で送信可能であることを確認した。また、パケット長120byteの条件にて、最優先のパスでの送信遅延が1 ms以下となることを確認した。関連して、通信コストを最小化しながら各パケットをより確実に低遅延で送付するスイッチノードに関して、国内特許出願を行った。
- (4) PTPマネジメントメッセージに相当する通信に情報を格納することで収集した時刻差情報を用いて、合成時刻を生成する方法に関して、複数の生成手法をネットワークシミュレータ上で検証し、適切な合成時刻に基づいてロバストな時刻同期が行えることを確認した。本成果については電気情報通信学会総合大会にて3月に口頭講演を実施した。
- (5) 産学官連携のため、今後、自動運転、IoTセンシング(インフラ監視、位置計測)について、大学および企業の三名に、本プロジェクトの運営委員会の外部有識者として就任いただいた。有識者のアドバイスをもとに、本プロジェクトが想定するユースケースや必要スペックに関して具体化・定量化を進めた。

5. 研究開発成果の展開・普及等に向けた計画・展望

委託期間で得られた研究成果を外部発表で大きくアピールすると同時に、有線/無線互換型の同期ネットワークへの適用実証や、有無線シームレス時刻同期および低遅延通信等に基づく屋内での産業用機器制御など、具体的なアプリケーションの開拓にも注力する。また、本委託研究で開発した時空間デジタルツイン処理基盤がBeyond 5Gにおいて本格的に社会実装される2030年以降を見据えて、バックキャストした標準化活動を行う。

