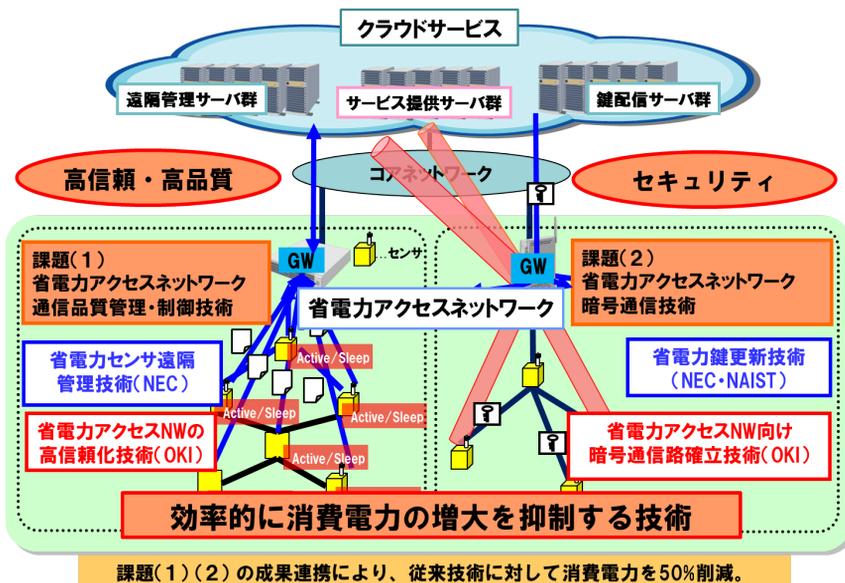


1. 研究開発概要

「クラウドサービス」は、企業のICT設備投資の負担軽減や情報処理の集約等による環境負荷低減効果が期待されるが、その利用範囲の拡大に向けては、広域災害の発災時等においても、クラウドサービスをミッションクリティカルなサービスへの活用に耐えるものとする信頼性の向上(安定・確実なサービス稼働の維持)が必要であるとともに、ネットワーク利用の拡大等に伴う通信トラフィックの急増への対応(消費電力の増大抑制)が重要である。

こうした課題を解決するため、本研究開発を実施し、高信頼・高品質で省電力な次世代クラウドサービスの基盤(『グリーンクラウド基盤』)を世界に先駆けて構築することを目標とした。

本研究開発課題においては、当該要素技術のひとつとして、クラウドネットワークに膨大かつ多種多様なセンサ等のIoT機器が接続されるような利用形態の普及に伴う消費電力の増加に対応するための、センサ等により構成される多様なアクセスネットワークに適用可能な「省電力型アクセスネットワーク制御技術」の研究開発を実施した。



2. 研究開発成果概要

課題(1)省電力アクセスネットワーク通信品質管理・制御技術

(1)ーア) 省電力アクセスネットワークの高信頼化技術

アクセスネットワーク内の省電力マルチホップ技術のスリープ制御を最適化し、通信の高い信頼性を保ちつつ、省電力化を実現

■ アクセスNWの省電力マルチホップ技術

無線ノードの受信待機時間の削減や、パケット送信時の制御パケット送信を削減する技術

【成果】

・ トラフィックの変動に応じたスリープ制御方式

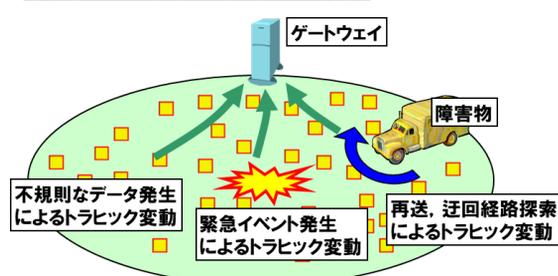
アクセスネットワーク内のトラフィック変動に応じて、最適なスリープ制御パラメータを動的に決定する方式を開発し、無駄な受信待機を削減し省電力効果の高いネットワークを実現。

・ ブロードキャスト通信時の消費電力削減方式

802.15.4e CSLを使った省電力方式において、ブロードキャスト時のコストが大きいという課題に対してスリープタイミングの同期を考慮することで、無駄な制御パケットの送信を削減し省電力化を実現。

・ 従来技術に対して消費電力を50%以上(最大約70%)削減(計算機シミュレーションにより確認)。

省電力アクセスネットワークのトラフィック変動



省電力方式の動作



2. 研究開発成果概要 (つづき)

(1)ーイ)省電力センサ遠隔管理技術

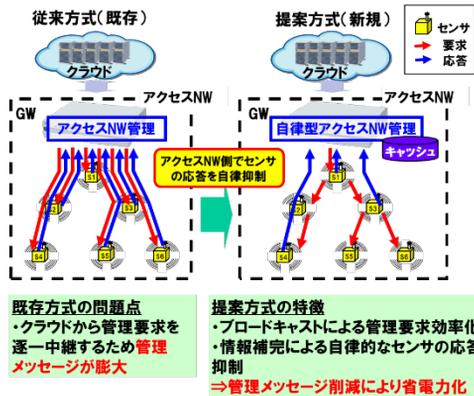
自律的にアクセスネットワークにおける管理通信効率の向上と省電力化を実現するゲートウェイの自律型省電力センサ遠隔管理技術を開発

■ 自律型省電力センサ遠隔管理方式

ゲートウェイのキャッシュを用いた情報補完により、センサからの応答を自律的に抑制。

【成果】

- 自律的にセンサの応答を抑制し、**管理通信トラフィックを低減**。抑制した情報をキャッシュ情報から補完してクラウドに通知。
- 実証実験により、実アクセスNW(センサNW)上で、提案技術の実用性と有効性を確認。
- 従来技術に対して**消費電力を50%以上(最大約80%)削減**(計算機シミュレーションにより確認)。



課題(2)省電力アクセスネットワーク暗号通信技術

(2)ーア)省電力アクセスネットワーク向け暗号通信路確立技術

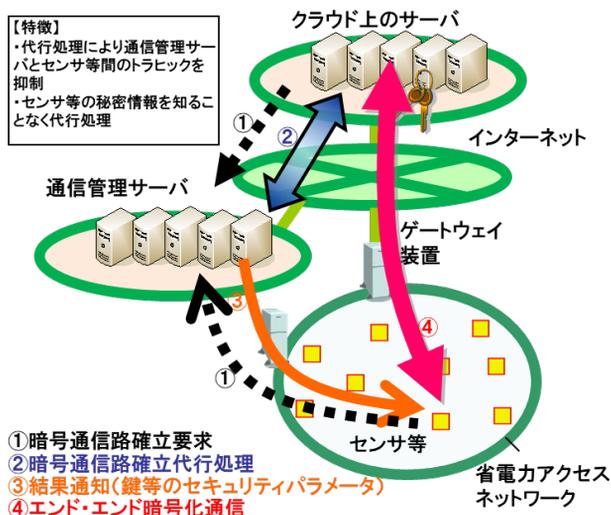
アクセスNWの通信トラフィックを抑制しつつ、クラウド上のサーバとセンサ等との間に 安全性の高いエンド・エンドパスを確立する暗号通信路確立代行技術を開発

■ 暗号通信路確立代行技術

アクセスNWで汎用プロトコル(TLS, IPsec)を動作させる場合に、省電力動作の阻害要因となっていた、暗号通信路確立にかかる通信トラフィックを削減する技術。

【成果】

- アクセスNW外部の**通信管理サーバに暗号通信路確立を代行**させることにより、アクセスNWのトラフィック量を30~40%に削減。
- 遠隔サーバにセンサ等を認証させるために必要な秘密情報を代行装置に預けることなく代行処理させることにより、クラウド等の外部の計算資源を利用する場合でも安心な代行システムを確立。
- 従来技術に対して**消費電力を50%削減**(計算機シミュレーションにより確認)。



(2)ーイ)省電力鍵更新技術

送信元を偽る「なりすまし」やデータを偽造する「改ざん」等をされない高い信頼性を担保する鍵更新技術を開発実験的評価の正しさを数理的に確認。

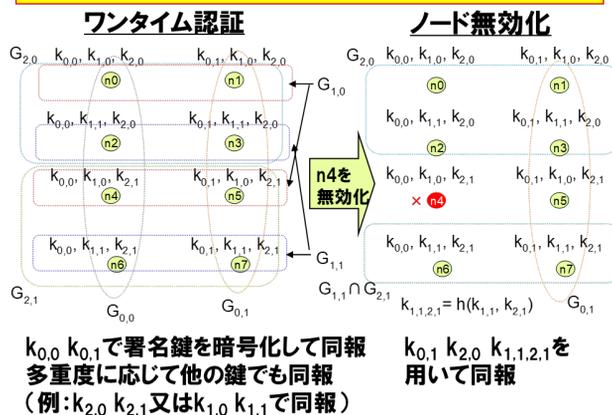
■ 省電力暗号鍵更新技術

鍵更新情報の配付にかかる消費電力増加問題を、センサ集合の包含関係を多次元的に利用する配付方式によって解決。

【成果】

- センシング毎に鍵を更新するワンタイム認証を**従来技術に対して12%以下の通信量**で実現。
- 署名鍵の選択配付による**ノード無効化**の動作も確認。
- 従来技術に対して**消費電力を50%以上削減**(計算機シミュレーションにより確認)。

- 属性集合 $G_{i,j}$ に対応する属性鍵 $k_{i,j}$ をGW-センサ間で共有
- 鍵更新の必要なセンサを全て被覆する属性集合を n 通り決定し、 n 通りの属性鍵で署名鍵を配付 (n :多重度)



3. 成果から生み出された経済的・社会的な効果

<成果の社会展開に向けた取組状況>

社会展開に向けた取り組み方針（H24 研究開発終了時点）

《標準化》

- BBF(Broadband Forum)における省電力型の遠隔管理プロトコルに関する技術の標準化推進を検討する。
- 研究成果を広く利用できるようにするために、ZigBee Allianceの標準として、まず920MHz帯をZigBee標準として規定し、その後追加機能を審議する。このため、ZigBee Allianceでの省電力機能の標準化を、平成25年度以降に実施する予定である。
- センサネットワーク等に用いる無線方式を標準化しているIEEE 802委員会の15WGで、マルチホップルーティングの機能を標準化する活動を実施した。2013年1月からスタディグループとして具体的な標準化すべき項目についての審議を開始し、来年度以降も方式提案などの活動を継続して実施する予定である。

《製品化》

- 短期的には、実証実験で使用した検証サービスをベースとした環境モニタリングサービスの、東日本大震災の被災地への導入提案を行っている。中長期的には、成果を適用した「省電力センサネットワークサービス」として平成27年度の製品化を目指す。
- 省電力鍵更新技術については、某大学の研究開発支援を目的とした基盤として、新たに環境情報やユーザ情報の収集を可能とするセンサネットワーク実験基盤システムを平成26～27年に実現することを目標に検討を行っている。
- 省電力なアクセスネットワーク用無線ノードとして、通信の信頼性・安全性を高めた組み込み機器をH26～27年に実現することを目標に検討中である。

ベンチマーク(数値目標)

- 特許取得:4件
- 特許出願:3件
- 論文掲載:1件
- 研究発表:2件
- 報道発表:1件



社会展開に向けた取り組み(実績)

《標準化》

- IEEE 802委員会15WGタスクグループTG10において、推進してきた省電力無線マルチホップ方式の標準化が完了。
承認された標準の名称:
IEEE Std. 802.15.10 - 2017,
“IEEE Recommended Practice for Routing Packets in
IEEE 802.15.4™ Dynamically Changing Wireless Networks”

ベンチマーク達成状況

項目	目標	実績
特許取得	4件	11件
特許出願	3件	17件
論文掲載	1件	3件
研究発表	2件	24件
報道発表	1件	1件

《製品化》

- H25年度、鍵更新技術を含むセンサネットワーク実験基盤システムとして奈良先端科学技術大学院大学へ導入
- H29年度、省電力マルチホップ機能を持った通信モジュールへ、継続研究で開発した通信の信頼性・安全性を高める機能を導入し、商品化した。

<新たな市場の形成、売上げの発生、国民生活水準の向上>

鍵更新技術

- H25年度、研究開発基盤の強化を目的に鍵更新技術を含むセンサネットワーク実験基盤システムとして奈良先端科学技術大学院大学へ導入

暗号通信路確立技術

- H29年度、省電力マルチホップ機能を持った通信モジュールへ、継続研究で開発した通信の信頼性・安全性を高める機能を導入し、商品化した(920MHz帯マルチホップ無線SmartHop SRシリーズ(沖電気))。

(補足)本研究開発では、Zigbeeを通信技術の一例として活用。現在では、LoRa等の他の無線通信方式が登場する中で、それらにも適用可能な、自立型ネットワークにおける省電力制御の技術開発につながっている。

3. 成果から生み出された経済的・社会的な効果 (つづき)

<知財や国際標準獲得等の推進>

知財

・本研究開発成果の社会展開に向けてセンサーネットワークの省電力化、セキュリティに関する特許を17件出願し、11件の取得した。

標準化

・IEEE802委員会15WGタスクグループTG10において、省電力無線マルチホップ方式の標準化活動を進め、H29年度にIEEE Std. 802.15.10 – 2017として承認された。

4. 成果から生み出された科学的・技術的な効果

<新たな科学技術開発の誘引>

- ・アクセスネットワークにおける省電力化の取り組みとして、Zigbeeのみならず、LoRaなどを用いた自立型ネットワークにおける省電力制御の技術開発を進めている。
- ・920MHz帯を用いた省電力無線NW上で動作させるアプリケーションも含めたシステム全体の技術開発が促進し、NW参加認証にかかる速度の向上など、新たに顕在化した課題に対しても技術開発を進めることができた。
- ・本課題において開発した省電力暗号鍵更新方式は、対称鍵ベースの広範なセキュリティ技術と組み合わせ利用可能な技術である。その一方、操作の非対称性が本質的となる用途、具体的には、グループ通信におけるデータ認証の実現手段は提供できておらず、今後の課題とされていた。その問題意識の下、本研究開発の終了期間後も検討を続行した結果、汎用的な電子署名の代替となり、耐量子計算安全性を有するハッシュベース署名方式の開発成果に至っている。

5. 副次的な波及効果

- ・IoT向けアクセスネットワークを実現する技術が多数登場する中で、データ更新の頻度に応じた省電力制御を実現するスキルを有する人材の育成につながった。
- ・920MHz帯を用いた省電力無線NW方式やセキュリティ方式の設計、組込み機器への方式実装を通じて、省電力無線NWやセキュリティへの専門性、組込み開発スキルを持った人材の育成につながった。
- ・本研究開発から派生する課題、周辺の課題について、主として大学院生と共同で研究を進めてきた。本課題を補強する個々の研究成果が得られただけでなく、広く当該分野の研究開発に従事することのできる知識と熱意を持った人材の育成に貢献することができた。

6. その他研究開発終了後に実施した事項等

研究開発終了後も、学会発表、フォーラムへの出展など、研究開発成果の普及活動を継続して実施。
特許取得: 11件、特許出願: 17件、論文掲載3件、研究発表: 24件、報道発表1件

	総務省	受託者
平成25年度	・研究成果のWeb上の公開	・本研究開発の技術を含むセンサネットワーク実験基盤システムとして奈良先端科学技術大学院大学へ導入。 ・環境モニタリングソリューションの提案実施と新たな事業機会の調査継続。 ・方式改良および応用研究に向けた研究開発を実施。 ・ICTイノベーションフォーラム2013において本研究開発の研究成果内容を出展。
平成26年度	・研究成果のWeb上の公開	・環境モニタリングソリューションの提案実施と新たな事業機会の調査継続。 ・方式改良および応用研究に向けた研究開発を実施。
平成27年度	・研究成果のWeb上の公開	・環境モニタリングソリューションとしてのメニュー化を完了(日本電気)。 ・無線ノードの製品化又は技術実装に向け、事業機会の継続調査を実施(沖電気)。 ・通信の信頼性・安全性を高める研究開発を継続実施(沖電気)。 ・センサネットワークへのネットワーク符号化技術の実用化検討(奈良先端科学技術大学院大学)。
平成28年度	・研究成果のWeb上の公開	・M2M/IoTサービスプラットフォーム事業部門と環境モニタリングソリューションの大規模化を行うセンサネットワークソリューションの事業化検討に着手(日本電気)。 ・省電力マルチホップ機能を持った通信モジュールを商品化。本プロジェクトで開発した省電力技術の機能追加に向け、事業機会の調査を継続実施(沖電気)。 ・製品化に向けた通信の信頼性・安全性を高める研究開発を継続実施(沖電気)。
平成29年度		・一昨年度商品化した省電力マルチホップ機能を持った通信モジュールに、PJ終了後の継続研究で開発した通信の信頼性・安全性を高める機能を導入し、商品化した。 商品名: 920MHz帯マルチホップ無線SmartHop SRシリーズ 商品WebサイトURL: < http://www.oki.com/jp/920M/sr/ >(沖電気)

7. 政策へのフィードバック

- 国内では、地震や大型台風等、国民生活に大きな影響を与える災害が発生している。このような状況下で国民生活を守るためには、多数のセンサから得られる環境情報をクラウドで管理し、かつ、その際の通信頻度、通信量を削減し低消費電力化する技術の重要性は高まっている。本研究開発では、Zigbeeを通信技術の一例として活用したが、現在では、Wi-SUNやLoRaWAN等の他の無線通信方式が広まってきている。国家プロジェクトとしての妥当性を評価する際には、単なるZigbeeの技術開発として捉えるのではなく、通信技術を幅広く捉える必要があると考える。したがって、汎用性の高い省電力アクセスプロトコルを開発したことは、国家プロジェクトとして推進した意義は大きい。
- 一般に、設定した研究開発テーマと実際の事業とにギャップが生じてしまうこともありうる。他方で、国が支援することにより開発が進み、それにより顕在化する課題も多い。省電力無線NW向けのセキュリティ技術開発に関しては、普及しているシステムがない状態で、どのようなリスクが生じ得るかは見えにくく、企業が技術開発に投資しにくかった状況を考えると、国家プロジェクトとして取り組んだことは適切であった。