



Design Methodology of a Wireless Sensor Network Architecture for Urgent Information Delivery

(緊急情報伝達のためのセンサネットワークアーキテクチャの設計手法)

情報ネットワーク学専攻 河井 哲也



学位論文の内容

1. Introduction
2. Design Methodology of a Network Architecture for Fast and Reliable Urgent Information Delivery
3. A Sensor Network Protocol for Urgent Information
4. A Sensor Network Protocol for Automatic Meter Reading
5. Conclusion

背景

- センサノードを監視領域に配備し、環境情報を収集
- 安全・安心な社会への高まる関心
- センサネットワークの社会インフラへの応用
 - ビルオートメーション、災害警報システム、街中監視...
- 問題点
 - 限られた計算資源・エネルギー資源
 - 低信頼、不安定な無線通信
 - 多種多様な情報
 - セキュリティ、災害、天候、健康...
- 緊急情報をより迅速・確実に伝達する必要性



→ **トラフィックの差別化・優先制御
到達率・遅延の保証**

システム要件・構成

	通常状態	緊急状態
要件	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 拡張性 ➢ 耐故障性 ➢ 長寿命 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 拡張性 ➢ 高信頼・低遅延 ➢ 状況に対する適応性
アプリ層	ビルオートメーション、災害検知、街中監視...	
ネットワーク層	提案する設計手法	
MAC層	既存CSMA MACプロトコル	

従来研究

- 信頼性
 - ReInForm [19]: 中継ノードが重要度に応じた確率でパケットを転送
 - ESRT [20]: BSにて到達率を監視し、ソースでの送信レートを調整
- 遅延
 - SPEED [23]: 宛先ノードまでの距離を考慮し、最適なノードへ中継
 - MMSPEED [24]: SPEEDをマルチパスに拡張し、到達率も考慮
- 輻輳緩和
 - CODA [25]: hop-by-hopの機構とend-to-endのフィードバックの組合せ
 - IFRC [27]: 輻輳情報のノード間共有により公平なレート割当を実現

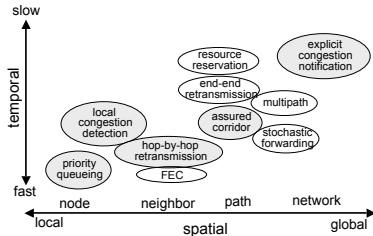
**動的に変化する緊急事態に適応しつつ
トラフィックを自律的に制御できる機構が必要**

設計目標

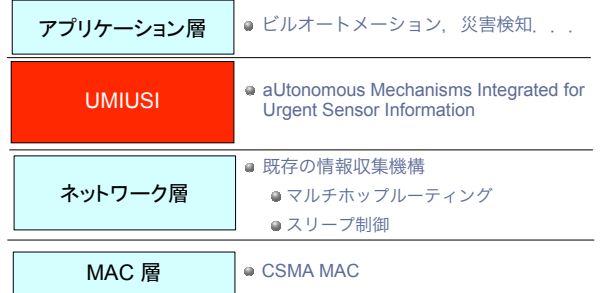
- 高信頼・低遅延
 - 緊急情報をその重要度によって優先的に伝達
- 自己組織的かつ分散制御
 - イベントの規模・動的に変化する状況への適応性
 - 各ノードにおける周囲状況への反応と隣接ノード間での局所的な通信の結果、全体最適なシステムのふるまいを実現
- 単純性
 - 限られた計算資源・エネルギー資源

設計手法

- 空間的・時間的に異なるレベルで動作する複数の単純なメカニズムの組み合わせ
 - イベントの状況に応じて各メカニズムが独立かつ自律的に動作
 - イベントの規模に応じた機構が効果を発揮
 - 即効性の機構と遅効性の機構が互いに補完
 - イベントの規模を検知する機構は不必要



UMIUSIの概要

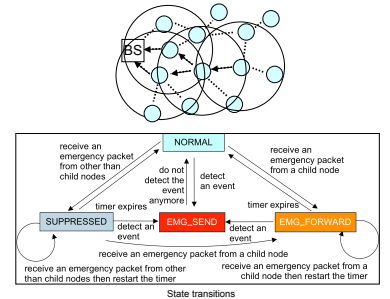


UMIUSI

- センサ情報を3クラスに分類
 - Normal
 - 緊急でない情報
 - 通常状態では t_{norm} 間隔で収集
 - 緊急状態ではロス・遅延を許容
 - Important
 - 緊急情報ではあるが過負荷時にはある程度ロス・遅延を許容
 - 間隔 $t_{imp} (< t_{norm})$ で送信されるが、輻輳時にはレート制御される
 - 例: 水漏れ, 温度
 - Critical
 - 最重要の緊急情報
 - 間隔 $t_{crit} (< t_{norm})$ で送信. レート制御の対象とならない
 - 例: 火災警報, 侵入者検知

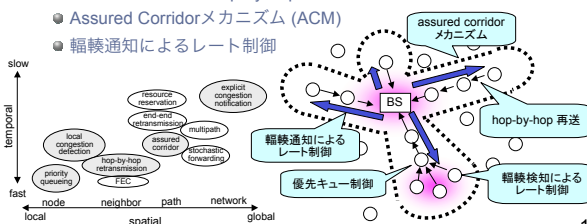
Assured Corridorメカニズム (ACM)

- 緊急情報伝達パスの周囲ノードの送信を抑制
 - 衝突によるパケットロスを回避
- 緊急情報のリレーノードのスリープを停止
 - スリープによる遅延を回避



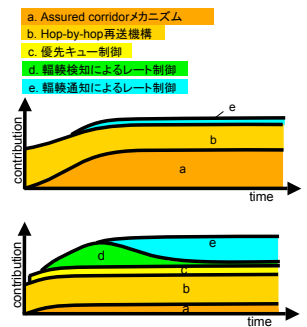
UMIUSI

- 5つのメカニズムの組み合わせ
 - 優先キュー制御
 - 各ノードでの輻輳検知によるレート制御
 - スケジュール付きHop-by-hop再送
 - Assured Corridorメカニズム (ACM)
 - 輻輳通知によるレート制御



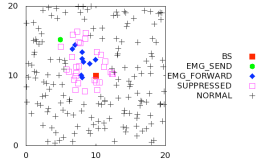
メカニズムの寄与

- 小規模イベントでは
 - 再送機構とACMが補完
 - 優先キュー制御およびレート制御は効果小
- 大規模イベントでは
 - ACMは効果小
 - レート制御が輻輳緩和に効果大
- 規模に応じて異なる機構が効果を発揮することで、変化する状況に適應



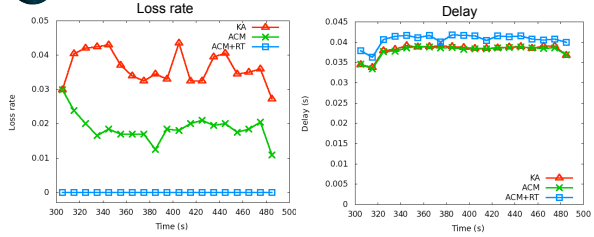
シミュレーション

- IEEE 802.15.4 MAC
- 同期型センサ情報収集機構 [41]
- パラメータ
 - 20m x 20mの領域
 - 200ノードをランダムに配置
 - 通信到達距離 $R = 2.5\text{ m}$
 - 初期化300秒。ランダムに選出したノードをEMG_SEND状態に移し、180秒後にNORMAL状態に復帰
 - 緊急パケット送出間隔 $t_{\text{cri}} = t_{\text{imp}} = 0.5\text{ sec}$ (2 packets/s)
 - 100シミュレーション
- 5パターンで比較: KA, ACM, ACM+RT, ACM+RT+PQ, FULL



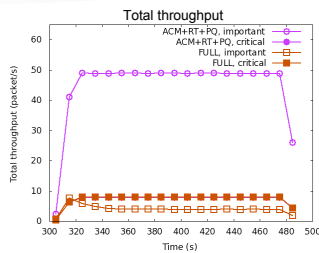
[41] N. Wakamiya and M. Murata, "Synchronization-based data gathering scheme for sensor networks," IEICE Transactions on Communications, E88-B(3), pp.873-881, March 2005.

小規模イベント



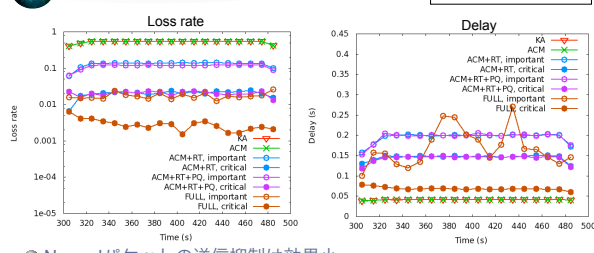
- Criticalクラス x 1
- Normalパケットの送信抑制はロスに対する効果大
- 再送によりロス率はさらに改善, しかし遅延は大

大規模イベント



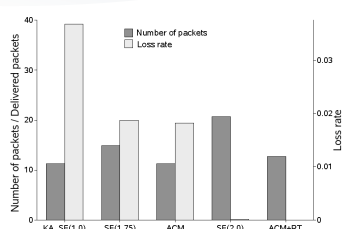
- Importantクラス x 28 + Criticalクラス x 4
- BSにおける1秒あたりの受信パケット数
- レート制御により約40秒間でImportantクラスのスループットが減少

大規模イベント



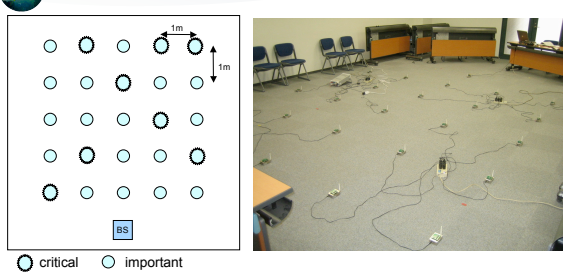
- Normalパケットの送信抑制は効果小
- 再送とレート制御が効果大
- FULLではレート制御によりImportantクラスのトラフィックが減少するのにはしたが、Criticalクラスのロス率・遅延が減少

他手法との比較



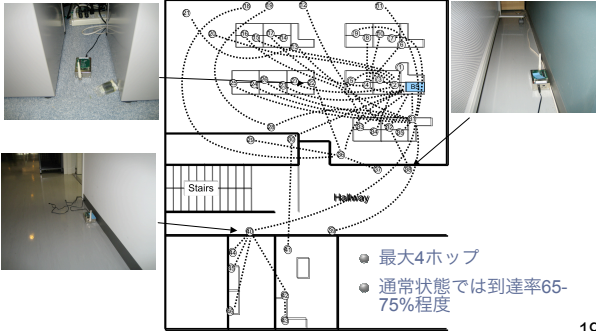
- Stochastic Forwarding (確率的転送)
 - 受信したパケットを転送するかを確率的に決定
- UMIUSIはより小さなオーバーヘッドでSFと同程度の信頼性を実現
- 大規模イベントでは、SFはUMIUSIと同程度の信頼性を確保できず

実機実験 (テストベッドA)



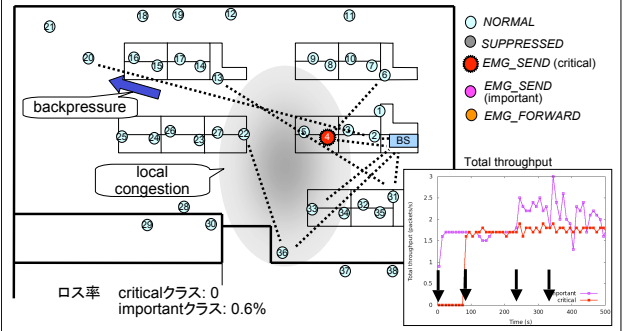
- シミュレーションと同様の結果

実機実験 (テストベッドB)



19

災害シナリオ



まとめ

- 緊急情報の迅速・確実な伝達のためのセンサネットワークアーキテクチャの設計手法を提案
 - 異なる空間的・時間的レベルで動作する複数の機構の組み合わせ
 - 各々の機構が自律的・独立に周囲の環境に応じて動作することで、様々な規模のイベントに適用
- UMIUSIを提案
 - センサ情報を3つのクラスに分類
 - 5つのシンプルなメカニズムを適用
 - バスレベルの機構としてAssured Corridorメカニズムを考案
- シミュレーションおよび実機実験により、UMIUSIがイベントの規模に関わらず緊急情報の信頼性および遅延を改善することを確認

21



ありがとうございました

22