

災害時における EV の残留エネルギーを考慮した 目標地選択と避難経路探索手法の提案

今西 智哉[†] 神戸 祥夫[†] 西 宏章[†]
慶應義塾大学 理工学研究科[†]

1. はじめに

大規模災害発生時、電気インフラが使用不可能な状況では非常用電源の確保が必要である。近年では電気自動車 (EV) を電力不足の避難所に移動させ、その残留エネルギーをバッテリーとして活用することができる。そこで本研究では災害緊急時、電力不足が見込まれる避難施設への EV の配置パターンを考慮することで、経路誘導をするための手法を提案する。災害時の通信インフラが使用不可となった際の情報通信手段として、車車間通信、すなわち車両間のワイヤレスアドホックネットワークを利用して、データの転送・中継を行うことで、インフラレスな状況においても情報通信を可能とすることを考える。また車車間通信による情報の拡散速度を高速化するため、メッセージフェリー方式 [1] を導入する。メッセージフェリー方式とは鉄道やヘリコプター、輸送トラックなどの移動体を用いて情報収集・伝播の高速化を図る方法である。フェリーに特定の経路を巡廻させることで、直接通信できない遠隔地の車両ノード間でメッセージ交換が可能となる。メッセージフェリー方式ではフェリーの移動経路がメッセージの遅延時間・配送率などのパフォーマンスに大きく影響するため、経路決定が重要な課題となる。本研究では被災地を巡回するフェリーとして、ドローンを想定し、通信可能範囲に EV が存在する場合に EV に電力不足の避難所情報を伝え、EV を誘導する。本稿では五島列島の海岸沿いをターゲットとして、避難所への EV 誘導についてフェリーの移動経路を決定する手法を提案する。

2. 関連研究と提案機構

災害によるインフラ途絶時の情報共有手法について、車車間通信を用いた研究 [2] や、メッセージフェリーの研究 [3] がある。本稿で扱うシミュレーションでは、車車間通信やメッセージフェリーによる情報伝達を組み合わせ、更に伝達された情報に基づいて被情報伝達ノード (EV) の経路が変更されるものとする。経路変更は各 EV の位置やバッテリー量、避難所のバッテリー量を考慮して行う。災害発生時、通信インフラの途絶寸前まで、各 EV の位置、バッテリー量、目的避難所

を VICS により管制塔にて把握しており、その後の情報は更新されないものとする。この直前の情報を用いて、各避難所への電力配分が適切となるようなフェリーの巡回経路を探索する。

3. 実装・評価

情報の伝播効率や、EV 誘導による避難所電力変化を評価するため、提案手法を Google Maps API を用いて可視化し、シミュレーションを行った。シミュレーションは表 1 の設定で実装した。

表 1 シミュレーションモデル

項目	値
想定被災地	長崎県五島列島 福江島東海岸
シミュレーション規模	12 km × 12 km
避難所数	3 カ所
EV 台数	60 台
フェリー台数	1~6 台
EV 移動速度	20~60 [km/h]
フェリー移動速度	30 [km/h]
フェリーと EV 間の 通信可能距離	200m
EV の車車間通信可能距離	50m

3.1. メッセージフェリーの動的経路決定

フェリーの巡回経路を決定するため、各フェリーが情報を伝える優先度を決定する。ここでフェリー (d) に対し、EV (i) に対する移動優先度を $C_{d,i}$ とする。優先項目として次の 3 要素を勘案する。

1. EV の余剰電力量 B_i (kWh)

エネルギー不足の避難所へ、余剰電力量の大きい EV を優先的に移動させるため、 B_i の大きい車両の移動優先度を上げることが望ましい。

2. フェリー移動に伴う予想消費電力 $F_{d,i}$ (kWh)

フェリーが時間的に早く情報を伝えられる EV に対して、優先度を大きくする為 F_i の小さい車両の移動優先度を上げることが望ましい。

3. EV の想定存在密度 P_i (kWh)

EV の存在密度が高いエリア内の EV の優先度を高くすることで、その後の車車間通信による情報拡散が期待できる。そこで、 P_i の大きい車両の移動優先度を上げることが望ましい。

各フェリーに対する、EV 移動優先度 $C_{d,i}$ を次のように定義する。

$$C_{d,i} = \omega_1 \cdot \frac{B_i}{\sum B_i} + \omega_2 \cdot \frac{1}{\frac{F_{d,i}}{\sum F_{d,i}}} + \omega_3 \cdot \frac{P_i}{\sum P_i} \quad (1)$$

An approach for evacuation route planning considering residual energy of EVs in disaster

[†] Tomoya Imanishi, Sachio Godo, Hiroaki Nishi, Dept. of Syst. Design, Keio University, Yokohama

3カ所の避難所電力の均等度の指標として、式(2)に示す目標電力量に対する絶対誤差を用いて評価を行った。

$$Z = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |z_k - \mu_k| \quad (2)$$

Z : 避難所電力目標値に対する絶対誤差, z_k : 各避難所電力量, n : 避難所数, μ_k : 避難所電力目標値

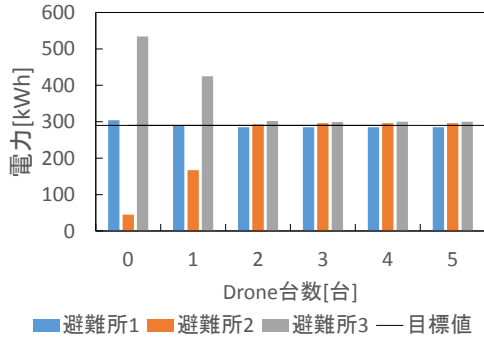


図1 フェリー電力量のみを移動優先項目とした時の各避難所電力

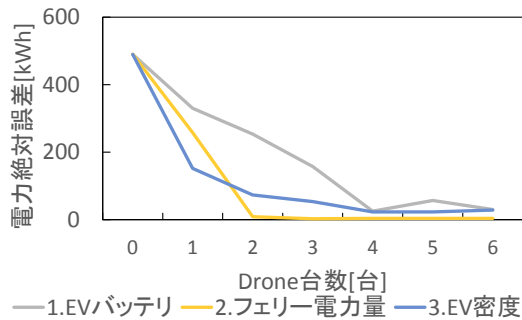


図2 3要素それぞれを移動優先項目とした時の避難所電力目標値に対する絶対誤差

図1は式(1)について $\omega_1 = \omega_3 = 0, \omega_2 = 1$ とし、 $F_{d,i}$ のみをEV移動優先項目とした場合の、各避難所電力である。フェリー台数と増加とともに、各避難所電力が均等化される。図2は $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ のみをそれぞれ1に設定した場合の、避難所電力目標値に対する絶対誤差である。フェリー台数増加に伴い、各避難所電力量が均等化され、絶対誤差も小さくなる。今回の想定規模では、 F_i のみをEV移動優先項目とすることで、フェリー2台で適切に誘導が可能であることがわかった。さらにフェリー1台の場合について、より適切な移動優先度決定方法について検討を行った。

3.2. 重みの決定

前章の3パターンから、フェリー台数(j)を増やした際の電力目標絶対誤差の傾きを重み ω として(式(3)), フェリーが巡回すべきEV移動優先度の再決定を行った。

$$\omega = \frac{|Z_j - Z_{(j-1)}|}{\sum |Z_j - Z_{(j-1)}|} \quad (3)$$

$$C_i = \frac{|Z_{Bj} - Z_{B(j-1)}|}{\sum |Z_{Bj} - Z_{B(j-1)}|} \cdot \frac{B_i}{\sum B_i} + \frac{|Z_{Fj} - Z_{F(j-1)}|}{\sum |Z_{Fj} - Z_{F(j-1)}|} \cdot \frac{1}{\sum F_{d,i}} + \frac{|Z_{Pj} - Z_{P(j-1)}|}{\sum |Z_{Pj} - Z_{P(j-1)}|} \cdot \frac{P_i}{\sum P_i} \quad (4)$$

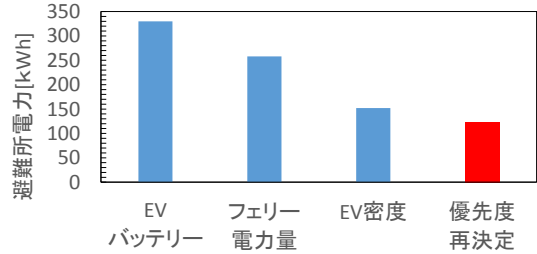


図3 避難所電力目標値に対する絶対誤差

図3はフェリー1台の場合の、前章3パターンと優先度再決定後の電力絶対誤差を示す。図3において、優先度再決定後の場合の電力絶対誤差が最も小さくなっており、式(4)による優先度再決定により電力配分が改善されたと言える。この手法ではフェリー1台あたりで100[kWh]のEVバッテリーを誘導でき、これは収容人数450人の避難所で5日分相当の電力量に相当する。

4. 結論

本稿では、通信ネットワークや、電力供給が遮断されている災害状況を想定して、電力不足の避難所がないようにEVを誘導するためのメッセージフェリーの巡回経路を決定する手法をシミュレーションによって確認した。素早い対応が求められる災害緊急時の情報共有において、車車間通信やフェリーによる情報拡散が有用である。本研究ではEV残留エネルギーの避難所分配に焦点をあてたため、目的地変更によって避難時間は増加する。しかし避難時間が増加することで危険となるような、安全避難を優先すべき車両については移動優先度を小さくするなど、提案手法では移動優先項目に避難優先度を加えることで、安全避難と適切な電力配分の両立が期待される。

5. 謝辞

本研究は、セコム科学技術振興財団研究助成、科研費基盤B(24360230)(25280033)、国交省住宅・建築物技術高度化の一環としてなされた。

参考文献

[1]W. Zhao, M. Ammar, "Message ferrying: proactive routing in highly-partitioned wireless ad hoc networks," The Ninth IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems (FTDCS), pp.308-314, 2003
 [2]大西亮吉, 松本真紀子, 渡部聡彦, 吉岡頭, "車載Wi-Fiの利用を想定した災害時情報共有手法の検討," マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2014)シンポジウム, 2014.
 [3] Reza Moazzez-Estanjini, Jing Wang, Ioannis Ch. Paschalidis, "Scheduling Mobile Nodes for Cooperative Data," IEEE/ACM TRANSACTIONS ON NETWORKING, VOL. 21, NO. 3, pp.974-989, JUNE 2013