

信号の無い交差点における車両の挙動のモデル化と検証

1955008 佐原優衣

1 システムモデル

信号のない交差点における、自動運転車が通過可能かどうかを判断する中央制御システムをモデル化し、検証を行う。本稿では、自動運転車のみで、交差点を通過する際どのように通過可能かを判断する中央制御システムがあるとする。本システムは、中央でどこからどこへ向かう車両が交差点を通過するか把握しており、その情報から、各車両が交差点進入可能かを判断する仕組みである。今回の通過可能の判断は二段階式にした。まず、左右方向に車両がきていないことを確認し、次に前方車にぶつからないことを確認する形にした。

2 UPPAAL モデルの解説

本モデルでは直進する車両のみをモデル化した。

2.1 大域宣言

```
clock gc;
int dir03,dir30,dir12,dir21;
int count;
int way[4];
int cross[4];
```

大域時間変数 gc と車両がどこからどこへ進むかを示す方向変数を用意し、交差点にいる全ての車両の台数を示す count、一段階目の確認の時に参照する配列 way と二段階目の確認時参照する cross を大域宣言とする。

2.2 テンプレート

本 UPPAAL モデルではテンプレートは車両のみである。

2.2.1 車両テンプレートの局所宣言

本テンプレートでは局所時間変数 local_clock と左右を確認するために自分の出発地から左右をはどこかを調べる関数を作り局所宣言で記述する（図 1）。

```
// Place local declarations here.
clock local_clock;
int Left(int set)
{
    if(set == 0){
        return 1;
    }else if(set == 3){
        return 2;
    }else if(set == 1){
        return 3;
    }else if(set == 2){
        return 0;
    }else{
        return 4;
    }
}
int Right(int set){
    if(set == 3){
        return 1;
    }else if(set == 0){
        return 2;
    }else if(set == 2){
        return 3;
    }else if(set == 1){
        return 0;
    }else{
        return 4;
    }
}
```

図 1 車両のテンプレートの局所宣言

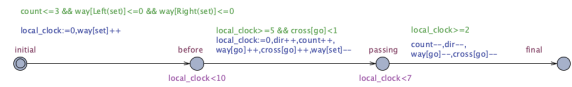


図 2 車両のテンプレート

2.2.2 テンプレートの図

パラメータはどの方向の車両かを示す dec を宣言し、大域変数を参照し、各車両の始点終点を保持する set, go を宣言した（図 2）。

2.3 システム宣言

```
sn = AV(dir30, 3, 0);
sn2 = AV(dir30, 3, 0);
ns = AV(dir03, 0, 3);
ew = AV(dir12, 1, 2);
ew2 = AV(dir12, 1, 2);
we = AV(dir21, 2, 1);
system sn,sn2,ns,ew,ew2,we;
```

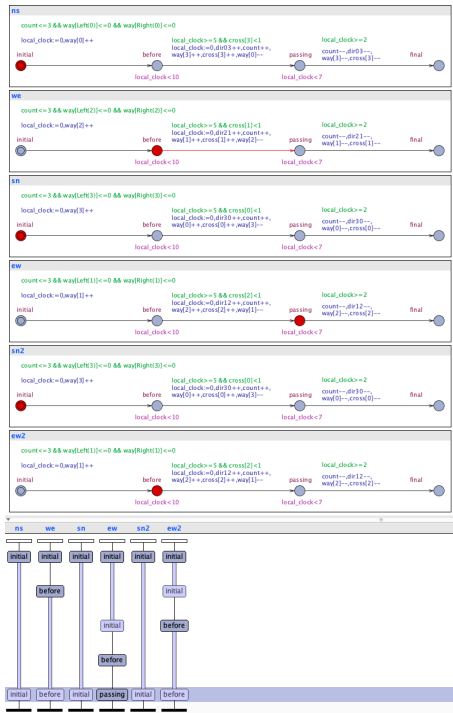


図3 シミュレーション画面

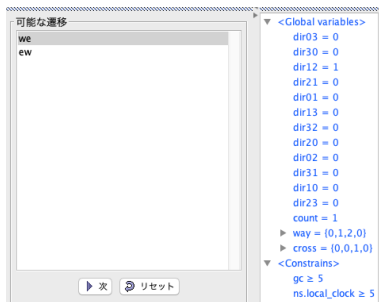


図4 遷移可能な車両

南から北へ直視する車両を sn と sn2, その逆を ns, 東から西へ直進する車両を ew と ew2, その逆を we, として宣言した。

3 シミュレーション

東から西へ直進する ew が交差点を通過中で、西から東へ直進する we と東から西へ直進する ew2 が交差点に進入する時の状態がシミュレーション画面に表示されている (図 3)。その時可能な遷移は we と ew だけである。cross 配列 3 が 1 なので ew2 が遷移できない (図 4)。ew が遷移するまで ew2 は passing ローカルに遷移できないからである。

4 検証

6 台の車両が交差点を通過終了する最小時間の検証を行う。最小時間の検証は基本特性の到達可能性と安全特性を組み合わせで行う。まず、到達可能性を検証し、その性質が満たされるならば、安全特性の検証を行う。そして、安全特性が満たされれば最小時間が算出できたことになり、満たされなければ最小時間ではないことがわかるため、再度、到達可能性の検証を行う。この一連を繰り返した結果、本モデルにおける最小時間は、18 単位時間であることがわかった。満たされた検証式を次に示す。

$E \langle \rangle (gc == 18 \text{ and } (ns.final \text{ and } we.final \text{ and } sn.final \text{ and } ew.final \text{ and } sn2.final \text{ and } ew2.final))$

$A[] (gc < 18 \text{ imply not } (ns.final \text{ and } we.final \text{ and } sn.final \text{ and } ew.final \text{ and } sn2.final \text{ and } ew2.final))$

5 まとめ

直進する車両だけならば、進行方向が垂直な時は遷移不可で、かつ同方向で前方車がいるときの遷移不可になることを確認できた。また 6 台の通過最小時間は 18 単位時間だったので、前方車追従を行いながら、進行方向が平行な車両が同時に通過することによってこの値になったと考えられる。