

네비게이션 매시를 이용한 3D게임 길찾기 전략

유영천

<https://megayuchi.com>

tw:@dgtman

목표

- WSAD 이동 방식 기반 위에서 길찾기를 구현한다.
 - 서버-클라이언트의 이동 방식은 WSAD기반으로 강하게 묶여있다.
 - 따라서 길찾기는 Auto pilot에 가깝고 이동처리의 근간이 아니다.
 - WSAD가 기본이고 3D충돌처리를 사용하므로 캐릭터는 길찾기 경로 그대로 움직이지 않는다.
- 복셀맵에서도 길찾기를 수행해야한다. 복셀맵의 경우 지형지물의 일부가 변형될 수 있다.

기본 전략

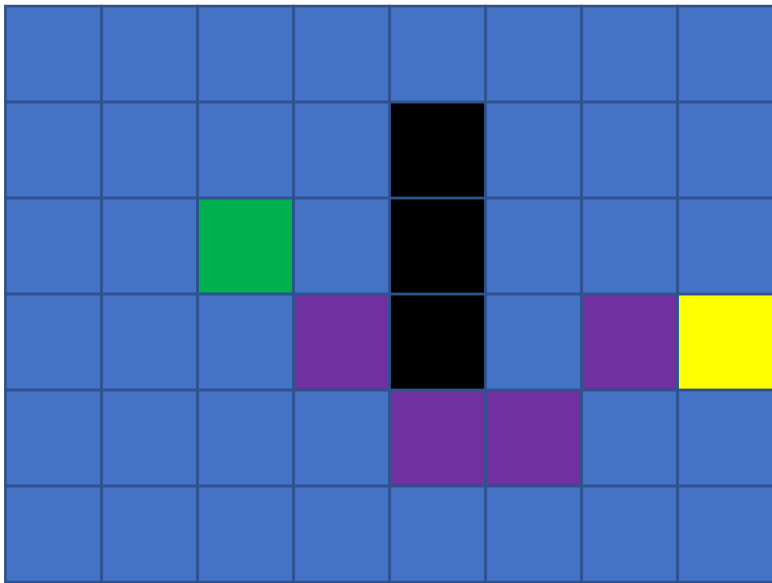
- A* 알고리즘을 사용한다.
- 네비게이션 매시를 사용한다.
- 네비게이션 매시로 사용하는 각 삼각형의 무게중심을 way point로 사용한다.
- 복셀맵의 경우 삼각형 복셀의 요철을 무시하고 네비게이션 매시를 사용.
 - 이동시 요철에 걸리는 문제는 길찾기와 별도로 다른 방법으로 해결.

A* 알고리즘

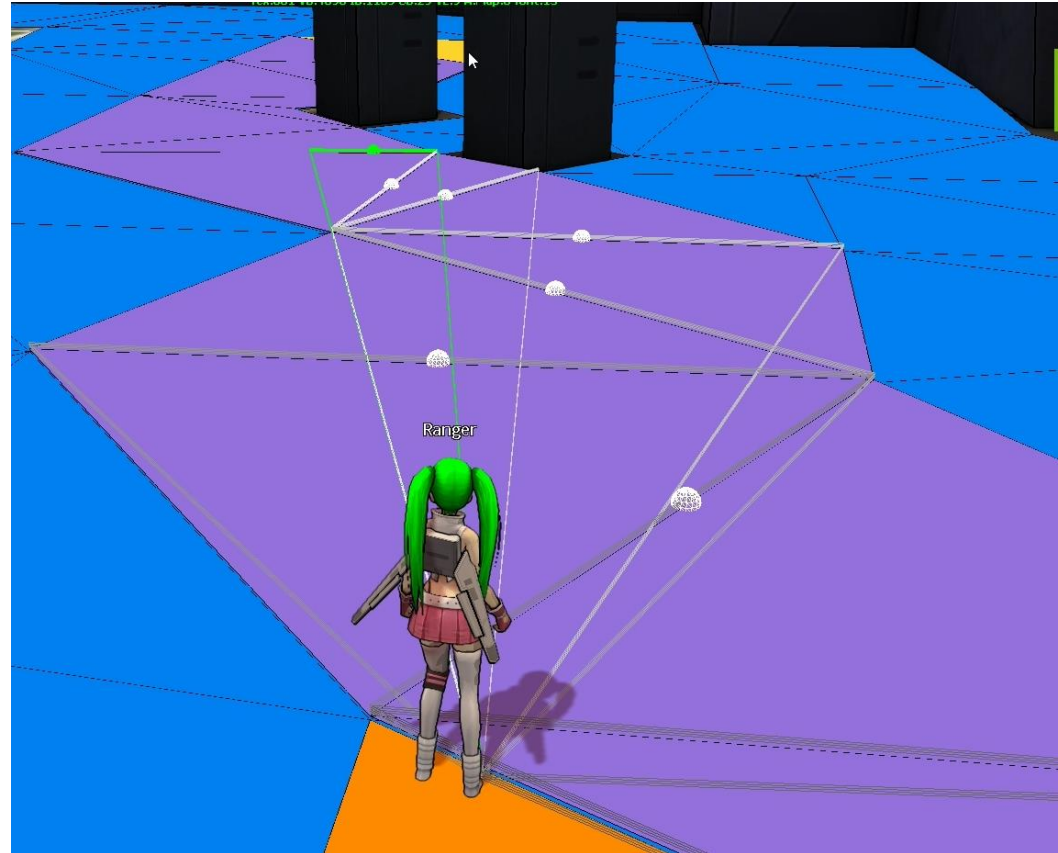
- 주어진 출발 꼭짓점에서부터 목표 꼭짓점까지 가는 최단 경로를 찾아내는(다시 말해 주어진 목표 꼭짓점까지 가는 최단 경로임을 판단할 수 있는 테스트를 통과하는) 그래프 탐색 알고리즘 중 하나이다.
- A* 알고리즘은 출발 꼭짓점으로부터 목표 꼭짓점까지의 최적 경로를 탐색하기 위한 것이다. 이를 위해서는 각각의 꼭짓점에 대한 평가 함수를 정의해야 한다. 이를 위한 평가 함수 $f(n)$ 은 다음과 같다.
 - $f(n)=g(n)+h(n)$
 - $g(n)$: 출발 꼭짓점으로부터 꼭짓점 n 까지의 경로 가중치
 - $h(n)$: 꼭짓점 n 으로부터 목표 꼭짓점까지의 추정 경로 가중치

[A* 알고리즘 - 위키백과, 우리 모두의 백과사전 \(wikipedia.org\)](https://www.wikipedia.org)

A* 알고리즘



2D배열에서 경로탐색



3D 삼각형 집합에서 경로탐색

네비게이션 매시

- 경로의 기본 단위인 노드가 될 삼각형 집합
- 렌더링용 지형 매시를 그대로 사용해도 되지만
 - 메모리 낭비가 심하다.
 - CPU자원을 많이 소모한다.
 - 의도하지 않은 결과가 나올 수 있다 - 길이 아닌 곳으로 가려고 한다거나..
- 길이 될만한 매시를 직접 만들어주는 편이 깔끔하다.

A* 알고리즘 + 네비게이션 매시

2D배열일때

- 주변 8개 노드를 탐색
- 배열의 좌표로 거리(비용)와 목표를 설정.

3D 삼각형일때

- 엣지에 인접한 3개 노드-삼각형을 탐색
- 삼각형의 무게중심 좌표를 way point로 사용
- F, G비용은 way point와 way point의 거리로 계산
- 엣지 별로 인접한 삼각형을 연결해주는 자료구조가 필요함.

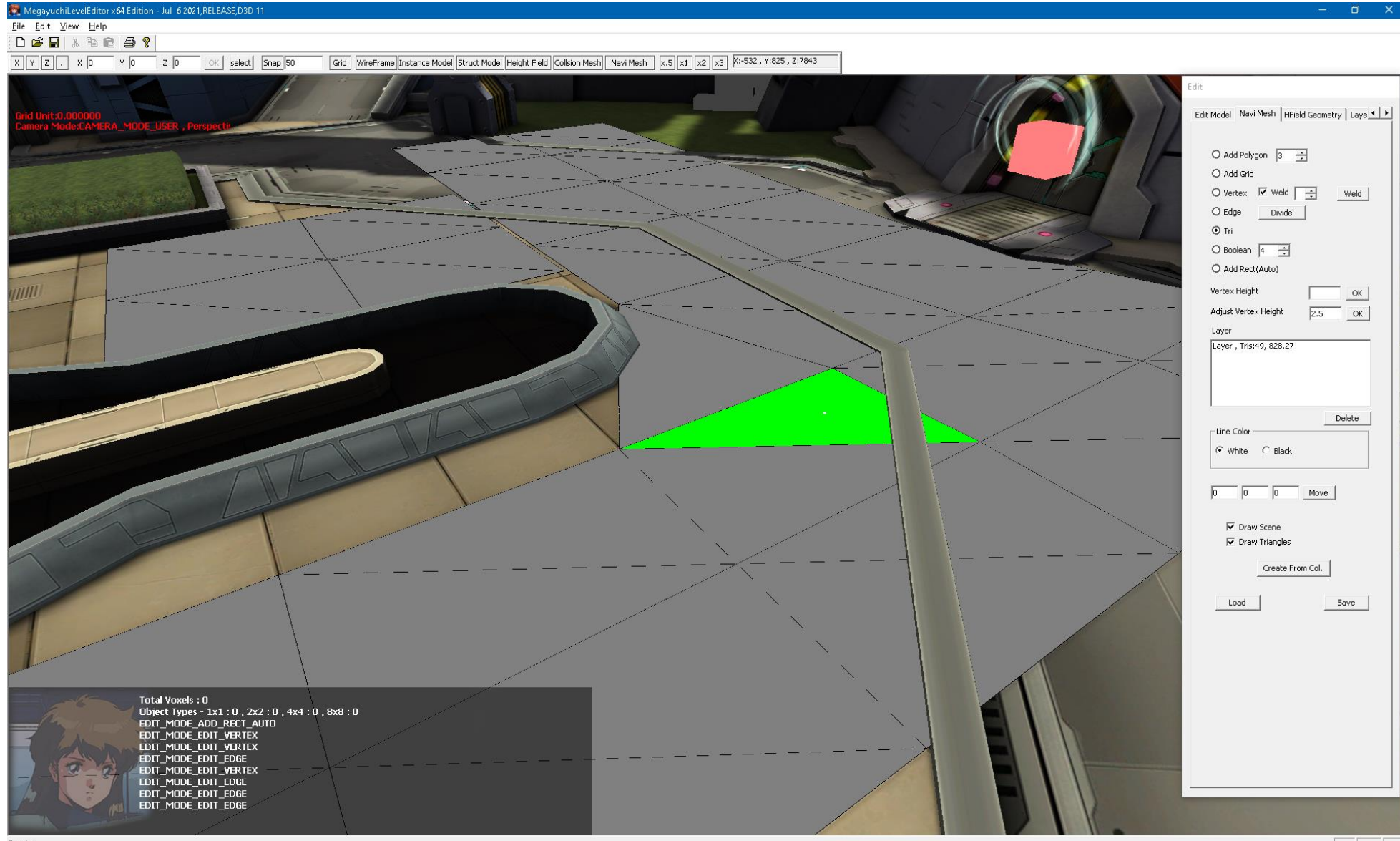
네비게이션 매시 제작

- 자동생성 – 이런저런 논문들이 나와있긴 한데 아직 완벽한 방법은 없어 보인다(완벽한 방법이 있다면 나 혼자 구현이 가능할까).
- 수동으로 만드는게 확실한데 노가다가...

네비게이션 매시 제작

- 맵툴에서 네비게이션 매시 편집 기능을 구현하는 것이 합리적이다.
- 주요 기능
 - 폴리곤 생성
 - 버텍스 이동
 - 버텍스 용접
 - 엣지 분할
 - 다각형에 구멍 뚫는 기능 – Boolean(subtractoin)
 - 지형지물의 빈 공간을 삼각형으로 채우는 기능

네비게이션 매시 편집 데모



길찾기 적용

기본구현



무게중심을 따라 움직일 때의 문제점

- 네비게이션 매시의 삼각형의 사이즈가 조밀하지 않으면 지그재그로 움직인다.
- 네비게이션 매시의 삼각형의 위치가 균일하게 분포하지 않으면 지그재그로 움직인다.



개선안 – 한번에 이동 가능한 경로 찾기

- 오브젝트 culling을 위한 ROOM/PORTAL기법을 길찾기 경로에 적용
 - Edge-> 2D portal 에 대응
 - Frustum -> 시작위치과 목표 삼각형의 엣지를 연결하는 삼각형에 대응
- 경로를 따라 Frustum을 Portal에 맞춰서 Frustum을 갱신한다.
- 경로를 따라 진행하면서 Frustum은 계속 좁아진다.
- Frustum의 폭이 캐릭터의 폭보다 좁아지지 않는 한, 계속 직진 이동이 가능하다.
- Frustum의 폭이 캐릭터의 폭보다 좁아지면 방향을 틀어서 직진경로를 찾는다.

한번에 이동 가능한 경로 찾기

1. 경로상의 삼각형을 순서대로 방문하며 Frustum 생성
2. 새로 방문하는 삼각형의 portal이 이전 Frustum과 교차할 경우 Frustum에 맞게 portal을 절단
3. 다음 삼각형의 Portal이 Frustum과 교차하지 않으면 이동할 수 있는 경로 종료
4. 새로 생성한 Frustum의 폭이 캐릭터의 폭보다 좁으면 한번에 이동할 수 있는 경로 종료
5. 3,4에서 종료 후 남은 경로에 대해 1부터 다시 시작

Case 1



Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21 , 825.87 , 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

DEV, Version Build 19 Ping: T_T GPU: 86%, 5991 MB, 61 C

Recording has started

다음번 방문할 삼각형으로
연결되는 포탈

엣지의 중점
현재 목표 위치

Ranger

현재 위치에서의
Frustum

OutputBox for Normal.

"Ranger" used "BODY_SF_008".
"Ranger" used "BODY_SF_007".
"Ranger" used "BODY_SF_006".
"Ranger" used "BODY_SF_010".

N Y W P



Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21 , 825.87 , 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

Recording has started

OutputBox for Normal.

"Ranger" used "BODY_SF_008k"

"Ranger" used "BODY_SF_007k"

"Ranger" used "BODY_SF_006k"

"Ranger" used "BODY_SF_010k"

N Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Add

Remove

Color

Select

Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21 , 825.87 , 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:061 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

Recording has started

OutputBox for Normal.

"Ranger" used "BODY_SF_008k"

"Ranger" used "BODY_SF_007k"

"Ranger" used "BODY_SF_006k"

"Ranger" used "BODY_SF_010k"

N Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Add

Remove

Color

Select

Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21 , 825.87 , 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

Recording has started

OutputBox for Normal.

"Ranger" used "BODY_SF_008k"

"Ranger" used "BODY_SF_007k"

"Ranger" used "BODY_SF_006k"

"Ranger" used "BODY_SF_010k"

N Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Add

Remove

Color

Select

Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21 , 825.87 , 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

DEV, Version Build 19 Ping: T_T GPU: 86%, 5991 MB, 61 C

Recording has started

OutputBox for Normal.

"Ranger" used "BODY_SF_008k"
"Ranger" used "BODY_SF_007k"
"Ranger" used "BODY_SF_006k"
"Ranger" used "BODY_SF_010k"

N Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Add

Remove

Color

Select

Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21, 825.87, 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:061 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

Recording has started

OutputBox for Normal.

"Ranger" used "BODY_SF_008k"

"Ranger" used "BODY_SF_007k"

"Ranger" used "BODY_SF_006k"

"Ranger" used "BODY_SF_010k"

N Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Ranger LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

1773.21 , 825.87 , 6907.73

f:413 obj:216 hfo:0 spr:32 font:21 P:33663 V:83721 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

DEV, Version Build 19 Ping: T_T GPU: 86%, 5991 MB, 61 C

Recording has started

OutputBox:for Normal.

경로를 따라 진행하면서 Frustum은 계속 좁아진다.

"Ranger" used "BODY_SF_008".
"Ranger" used "BODY_SF_007".
"Ranger" used "BODY_SF_006".
"Ranger" used "BODY_SF_005".

N Y W P

1 2 3 4 5 6 7 8 9



Case 2



Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

f:354 obj:527 hfo:0 spr:32 font:16 P:58536 V:129219 W:1 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

-309.53 , 825.87 , 7505.01

Frustum과
교차하지 않는
portal

Frustum에 의해
절단된 portal

Recording has started

OutputBox for Normal.

OutputBox for System.

"Ranger" used "BODY_SF_000".

N Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Add

Remove

Color

Select

Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

-1738.68 , 825.87 , 7997.77

f:286 obj:419 hld:0 spr:32 font:16 P:32721 V:81592 W:1 F:133MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15



Recording has started

Ranger

OutputBox for Normal.

OutputBox for System.

Ranger used 'BODY_SF_000'

N Y W P



Ranger

LV:99

HP

300 / 400 (75.00%)

SP

320 / 400 (80.00%)

-1760.73 , 825.87 , 8005.38

f:286 obj:419 hld:0 spr:32 font:16 P:32721 V:81592 W:1 F:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A:Map:0 font:15

Recording has started

OutputBox for Normal.

OutputBox for System.
"Ranger" used "BODY_SF_000"

N Y W P



Ranger

LV:99

HP 300 / 400 (75.00%)

SP 320 / 400 (80.00%)

-2911.89 , 825.87 , 6886.64

f:372 obj:50 hfo:0 spr:32 font:16 P:8729 V:11100 W:0 FL:33MB-Fail:0
Tex:861 VB:4698 IB:1168 CB:29 VL:9 A.Map:0 font:15

DEV: Version: Build 19 Ping: T_T GPU: 71%, 5991 MB, 63 C

Recording has started

OutputBox for Normal.

OutputBox for System.
"Ranger" used "BODY_SF_0101"

Y W P

1

2

3

4

5

6

7

8

9

Add

Remove

Color

Select

복셀맵에서의 길찾기

복셀맵에 길찾기를 적용하려니...

- 네비게이션 매시를 그대로 사용하면 캐릭터 이동중 복셀의 요철에 걸린다.

Marching Cube를 이용한 Voxel -> 삼각형 변환

- 빗면이 자동생성 되니까 요철 문제는 일단 해결 가능
- 삼각형이 너무 조밀하게 많이 나온다.
- 빗면을 타고 올라가는 이동처리 자체가 서버-클라이언트 이동처리 규칙과 다르다. 충돌 및 이동처리에 예외상황을 뒤야 한다.
- 결국 폐기됨

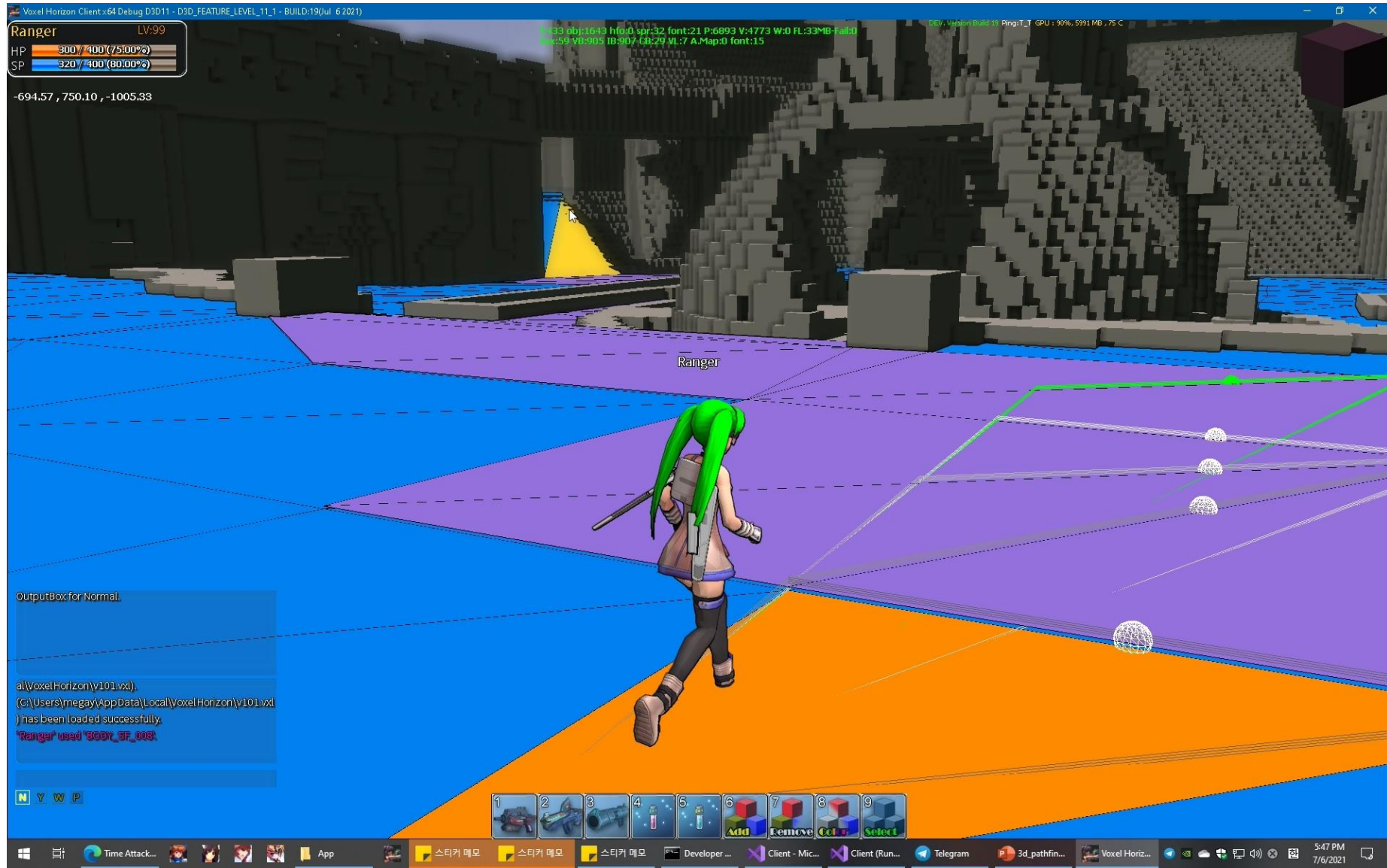
Marching Cube를 이용한 Voxel -> 삼각형 변환



네비게이션 매시를 그대로 사용하되 예외처리

- 삼각형 네비게이션 매시를 그대로 사용.
- 당연히 요철에 걸린다.
- 요철에 걸렸을 경우
 1. N ms만큼 전진을 못하고 있나? -> stuck상태로 전환
 2. stuck상태인 경우 -> 점프시도.
 3. stuck상태에서 점프시도를 했는데 여전히 stuck상태인가? -> 로켓을 쏘서 전방 복셀을 파괴
 4. 그래도 stuck상태인가? -> 초기위치로 워프

삼각형 네비게이션 매시를 그대로 사용.



복셀맵에서의 길찾기

- 새로운 복셀 장애물이 생겼을 경우
 - 복셀이 위치한 네비게이션 삼각형의 비용을 높인다.(비용상수를 곱한다)

새로운 복셀 장애물이 생겼을 경우



결론

- WSAD 이동, 복셀맵의 제약 조건 때문에 계속 미뤄뒀는데 진작 만들걸.
- 길찾기를 넣고나니 bot이 무서워졌어요.

- A*알고리즘
- 네비게이션 매시
- 네비게이션 매시 제작
- A*알고리즘 + 네비게이션 매시
- 예외처리
 - 네비게이션 매시 위에 있지 않을때
 - 목표 삼각형에 도착했을때
 - 목표 삼각형을 지나쳤을때
 - 경로에서 벗어났을때
- 복셀 지형에 적용
 - 네비게이션 삼각형 위에 복셀이 추가됐을때
 - 걸렸을때 처리