MODELAÇÃO DE UMA REDE VIÁRIA COM BASE NUM GRAFO COM ARCOS DE LARGURA, ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO ARBITRÁRIAS

Apoio à realização do trabalho em grupo

Resumo

Convenções e terminologia
Modelação
Movimento interactivo (controlado pelo utilizador)
Movimento automático (controlado pelo computador)
Colocação do personagem na cena

João Paulo Pereira
jjp@isep.ipp.pt

Índice

Índice de Figuras

Convenções e terminologia

Cena

- **Direcção e sentido do vector *up***: os correspondentes ao semieixo Z positivo[1].

Nó n_i

- **Localização**: ponto de coordenadas (x_i, y_i, z_i);
- **Largura**: w_i (a largura de um nó será igual à maior das larguras dos arcos que convergem/divergem nesse/desse nó).

Arco a_{ij}

- **Ligação**: do nó n_i ao nó n_j;
- **Desnível**: $h_{ij} = z_j - z_i$;
- **Comprimento**: s_{ij};
- **Largura**: w_{ij};
- **Orientação**: α_{ij} = arctan[2]((y_j - y_i) / (x_j - x_i)) (em radianos);
- **Inclinação**: β_{ij} (em radianos).

Personagem

- **Altura**: *ALTURA_PERSONAGEM*;
- **Localização** (centro geométrico): ponto de coordenadas (x_P, y_P, z_P);
- **Orientação**: *dir* (em radianos);
- **Velocidade horizontal**: vel_h;
- **Velocidade vertical** (apenas para o movimento automático): vel_v;
- **Velocidade angular** (apenas para o movimento automático): vel_a.

Animação (apenas para o movimento automático)

- **Circulação**: pela direita;
- **Número de fotogramas que compõem a animação de um movimento elementar**: *n*;
- **Tempo decorrido entre fotogramas**: supõe-se constante e igual a 1;
- **Raios de curvatura dos movimentos elementares *B* e *F*:** $RAIO_B$ e $RAIO_F$;
- **Velocidades máximas pretendidas para os movimentos elementares *A* a *F*:** VEL_A, VEL_B, VEL_C, VEL_D, VEL_E, VEL_F.

[1] Note-se que, por omissão, o three.js assume o semieixo Y positivo como correspondendo à direcção e sentido deste vector [7].
[2] Deverá usar-se a função Math.atan2() em vez de Math.atan() [5].

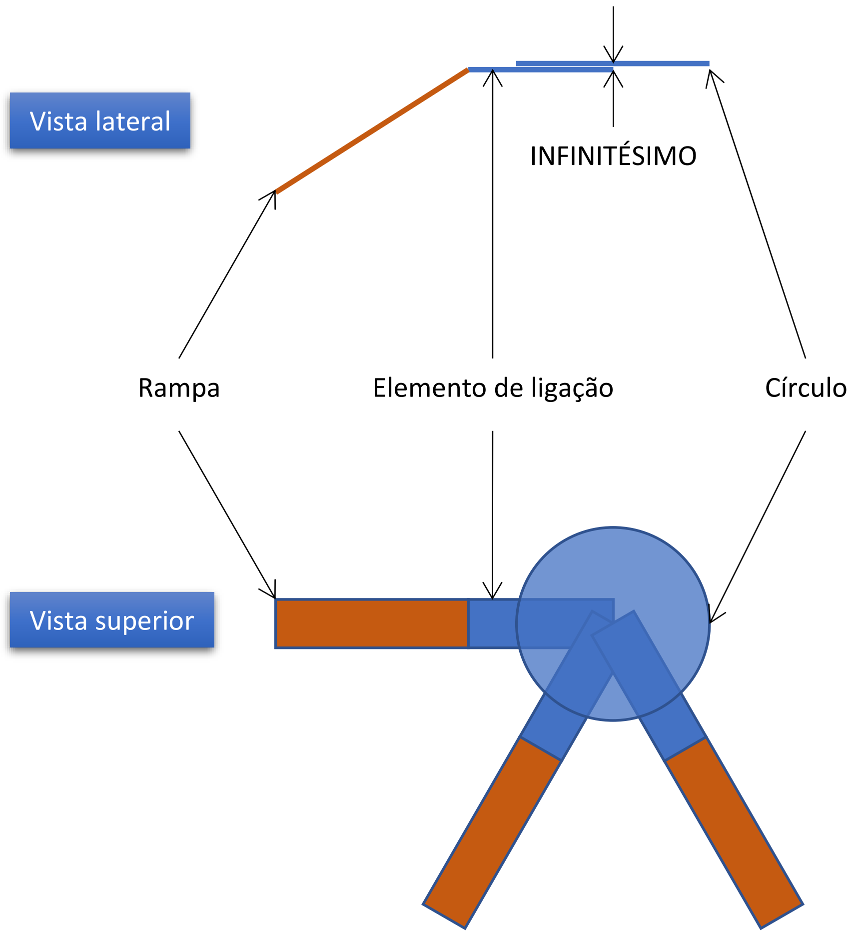

Figura 1 – Modelo da rede viária

Modelação

A rede viária poderá ser modelada da maneira que a seguir se descreve (Figura 1).

Modelação de um nó

A geometria associada a um nó n_i poderá ser a de uma rotunda constituída pelos seguintes elementos:

- um círculo;
- tantos elementos de ligação quantos os arcos que convergem/divergem nesse/desse nó.

Círculo

O círculo deverá ter as propriedades que a seguir se discriminam:

- **centro**: (x_i, y_i, z_i + *INFINITÉSIMO*);
- **raio**: r_i = *K_CIRCULO* * w_i / 2.0;
  em que *K_CIRCULO* designa uma constante superior a 1.0 (por exemplo, *K_CIRCULO* = 2.1).

Elemento de ligação

Dado um nó n_i ligado a um arco a_{ij}, a geometria do elemento de ligação poderá ser a de um rectângulo horizontal com as propriedades que a seguir se discriminam:

- **comprimento**: $s_i = K\_LIGACAO * r_i$;
  em que *K_LIGACAO* designa uma constante superior a 1.0 (por exemplo, *K_LIGACAO* = 1.1);
- **largura**: w_{ij};
- **orientação**: α_{ij}.

Modelação de um arco

A geometria associada a um arco a_{ij} poderá ser a de uma rampa (i.e. um rectângulo inclinado) com as propriedades que a seguir se discriminam:

- **comprimento da projecção no plano OXY**: $p_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} - s_i - s_j$;
- **desnível**: $h_{ij} = z_j - z_i$;
- **comprimento**: $s_{ij} = \sqrt{p_{ij}^2 + h_{ij}^2}$;
- **largura**: w_{ij};
- **orientação**: α_{ij};
- **inclinação**: $\beta_{ij} = \arctan(h_{ij} / p_{ij})$.

Movimento interactivo (controlado pelo utilizador)

Deverá manter-se um registo actualizado da localização do personagem no grafo, ou seja, se este se encontra num dado nó (o nó n_i) ou num dado arco (o arco a_{ij}).

Caso não houvesse colisão, a localização do personagem no próximo fotograma seria dada pelas seguintes equações (apenas a abcissa e a ordenada; a cota será calculada mais adiante)[3]:

- $x'_P = x_P + vel_h * \cos(dir)$;
- $y'_P = y_P + vel_h * \sin(dir)$.

Detecção de colisões num nó

Caso o personagem se encontre no nó n_i do grafo, não haverá colisão se o ponto correspondente à nova localização pertencer:

- ao círculo desse nó;
- a um dos elementos de ligação desse nó;
- a um dos arcos que convergem/divergem nesse/desse nó.

Detecção de colisões num arco

Caso o personagem se encontre no arco a_{ij} do grafo, não haverá colisão se o ponto correspondente à nova localização pertencer:

- a esse arco;
- ao elemento de ligação desse arco ao nó n_i;
- ao círculo do nó n_i;
- ao elemento de ligação desse arco ao nó n_j;
- ao círculo do nó n_j.

Determinação de pertença

Pertença de um ponto a um nó

O ponto correspondente à nova localização do personagem pertencerá ao nó n_i se e só se pertencer ao círculo ou a um dos elementos de ligação que o representam.

Pertença de um ponto a um círculo

O ponto correspondente à nova localização do personagem pertencerá ao círculo do nó n_i se e só se a distância daquele ao centro do círculo não for superior ao raio:

- $(x'_P - x_i)^2 + (y'_P - y_i)^2 \leq r_i^2$.

Verificando-se esta condição, considera-se que o personagem passa a estar (caso não estivesse já) localizado no nó n_i do grafo. As coordenadas da nova localização serão dadas pelas equações:

- $x_P = x'_P$;
- $y_P = y'_P$;
- $z_P = z_i + ALTURA\_PERSONAGEM / 2.0$.

[3] Supõe-se, para simplificar os cálculos, que o tempo decorrido entre fotogramas é constante e igual a 1.

Pertença de um ponto a um elemento de ligação

Para determinar se o ponto correspondente à nova localização do personagem pertence ao elemento de ligação do nó n_i ao arco a_{ij}, poderá proceder-se da maneira que a seguir se descreve:

Efectua-se uma mudança de sistema de coordenadas que verifique as seguintes condições:

- faça coincidir a nova origem com o ponto (x_i, y_i);
- alinhe o novo eixo X com o eixo longitudinal do elemento de ligação.

Neste novo sistema, as coordenadas correspondentes à nova localização do personagem serão dadas pelas seguintes equações:

- $x''_P = (x'_P - x_i) * \cos(\alpha_{ij}) + (y'_P - y_i) * \sin(\alpha_{ij})$;
- $y''_P = (y'_P - y_i) * \cos(\alpha_{ij}) - (x'_P - x_i) * \sin(\alpha_{ij})$.

O ponto correspondente à nova localização do personagem pertencerá ao elemento de ligação se e só se não ultrapassar os limites do rectângulo que o representa:

- $0.0 \leq x''_P \leq s_i$;
- $-w_{ij} / 2.0 \leq y''_P \leq w_{ij} / 2.0$.

Verificando-se estas condições, considera-se que o personagem passa a estar (caso não estivesse já) localizado no nó n_i do grafo. As coordenadas da nova localização serão dadas por equações idênticas às da pertença a um círculo:

- $x_P = x'_P$;
- $y_P = y'_P$;
- $z_P = z_i + ALTURA\_PERSONAGEM / 2.0$.

Pertença de um ponto a um arco

Para determinar se o ponto correspondente à nova localização do personagem pertence ao arco a_{ij}, poderá proceder-se da maneira que a seguir se descreve:

Efectua-se uma mudança de sistema de coordenadas idêntica à efectuada para a determinação da pertença a um elemento de ligação, ou seja, que verifique as seguintes condições:

- faça coincidir a nova origem com o ponto (x_i, y_i);
- alinhe o novo eixo X com o eixo longitudinal da projecção do arco no plano OXY.

Neste novo sistema, as coordenadas correspondentes à nova localização do personagem serão, tal como anteriormente, dadas pelas seguintes equações:

- $x''_P = (x'_P - x_i) * \cos(\alpha_{ij}) + (y'_P - y_i) * \sin(\alpha_{ij})$;
- $y''_P = (y'_P - y_i) * \cos(\alpha_{ij}) - (x'_P - x_i) * \sin(\alpha_{ij})$.

O ponto correspondente à nova localização do personagem pertencerá ao arco se e só se não ultrapassar os limites da projecção do rectângulo que o representa:

- $s_i < x''_P < s_i + p_{ij}$;

- $-w_{ij} / 2.0 \leq y''_P \leq w_{ij} / 2.0$.

Verificando-se estas condições, considera-se que o personagem passa a estar (caso não estivesse já) localizado no arco a_{ij} do grafo. As coordenadas da nova localização serão dadas por equações que se assemelham às da pertença a um círculo e a um elemento de ligação. A única diferença reside na inclusão de uma regra de três simples no cálculo da cota:

- $x_P = x'_P$;
- $y_P = y'_P$;
- $z_P = z_i + (x''_P - s_i) / p_{ij} * h_{ij} + ALTURA\_PERSONAGEM / 2.0$.

Movimento automático (controlado pelo computador)

Pretende-se deslocar o personagem de um nó de origem para um nó de destino, de acordo com um percurso previamente estabelecido, o qual é constituído por uma sequência de movimentos entre nós adjacentes. Cada um destes movimentos poderá, por sua vez, ser decomposto numa sequência de seis movimentos elementares: rectilíneos, para percorrer as rampas e parte dos elementos de ligação das rotundas; e circulares, para entrar, percorrer e sair dos círculos das rotundas.

Nas rampas e elementos de ligação assume-se que o personagem se desloca pela via de trânsito correspondente ao lado direito da faixa de rodagem. À distância do personagem à berma do lado direito poderá atribuir-se o seguinte valor:

- b_{ij} = *K_BERMA* * w_{ij};
  em que *K_BERMA* designa uma constante tal que 0.0 < *K_BERMA* < 0.5 (por exemplo, *K_BERMA* = 0.25).

Nos círculos assume-se que o personagem se desloca no sentido directo[4]. À distância do personagem à periferia do círculo poderá atribuir-se o seguinte valor:

- b_i = *K_BERMA* * w_i.

Assumindo que o personagem se encontra correctamente localizado e orientado, os movimentos elementares acima referidos poderão ser os que a seguir se discriminam (Figura 2):

- **movimento *A***: circular directo (o personagem percorre parte do círculo);
- **movimento *B***: circular retrógrado[5] (o personagem sai do círculo);
- **movimento *C***: rectilíneo (o personagem percorre parte do elemento de ligação);
- **movimento *D***: rectilíneo (o personagem percorre a totalidade da rampa);
- **movimento *E***: rectilíneo (o personagem percorre parte do elemento de ligação);
- **movimento *F***: circular retrógrado (o personagem entra no círculo).

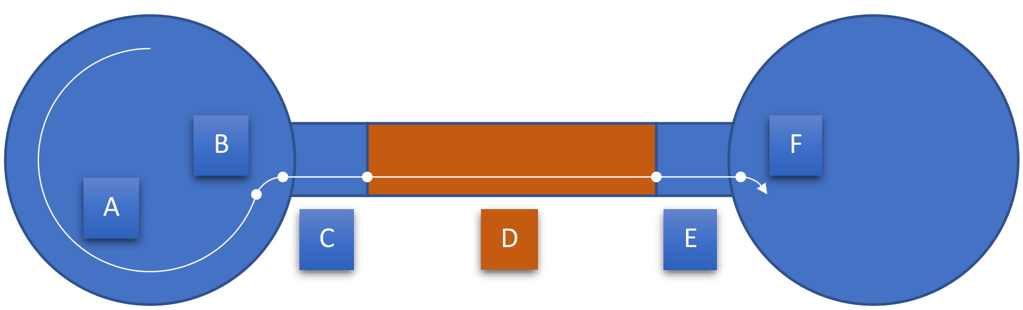

Figura 2 – Sequência de movimentos elementares

O processo de automatização do movimento será constituído pelas seguintes etapas:

[4] Isto é, no sentido contrário ao do movimento dos ponteiros de um relógio.
[5] Isto é, no sentido do movimento dos ponteiros de um relógio.

1. inicialização da posição e da orientação do personagem;
2. enquanto não for atingido o nó de destino:
    a. preparação para a animação do movimento elementar *A*;
    b. animação do movimento elementar *A*;
    c. preparação para a animação do movimento elementar *B*;
    d. animação do movimento elementar *B*;
    e. preparação para a animação do movimento elementar *C*;
    f. animação do movimento elementar *C*;
    g. preparação para a animação do movimento elementar *D*;
    h. animação do movimento elementar *D*;
    i. preparação para a animação do movimento elementar *E*;
    j. animação do movimento elementar *E*;
    k. preparação para a animação do movimento elementar *F*;
    l. animação do movimento elementar *F*.

A etapa *1* poderá ser efectuada apenas uma vez, no início do processo. As etapas *a* a *l* deverão ser realizadas repetidamente tantas vezes quantas forem necessárias para atingir o nó de destino.

Para facilitar a compreensão, este documento começará por descrever as etapas de preparação para a animação dos movimentos elementares *D*, *E, C*, *F*, B e *A*, por esta ordem (etapas *g*, *i*, *e*, *k*, *c* e *a*, respectivamente). Segue-se a descrição da animação dos movimentos elementares (comum às etapas *h*, *j*, *f*, *l*, *d* e *b*). Por último, descreve-se a inicialização da posição e da orientação do personagem (etapa *1*).

Preparação para a animação dos movimentos elementares

Na preparação para a animação de cada um dos movimentos elementares será necessário definir quatro parâmetros:

- número de fotogramas que compõem a animação do movimento elementar: n;
- velocidade angular do personagem: vel_a;
- velocidade horizontal do personagem: vel_h;
- velocidade vertical do personagem: vel_v.

Além disso, a natureza descontínua dos movimentos circulares terá as seguintes implicações:

- em cada fotograma, o personagem percorrerá, não um arco de circunferência, mas a corda [1] correspondente (Figura 3);
- antes de iniciar a animação de um movimento circular, deverá ajustar-se a orientação do personagem, subtraindo-lhe metade do valor da velocidade angular: $-vel_a$ / 2.0;
- uma vez concluída a animação de um movimento circular, deverá reajustar-se a orientação do personagem, adicionando-lhe metade do valor da velocidade angular: vel_a / 2.0.

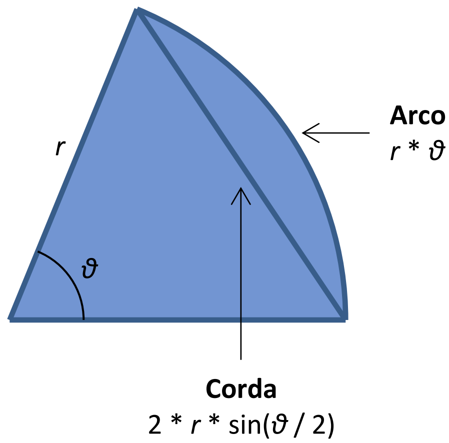

Figura 3 – Corda

Movimento *D*

Seja n_i o nó de proveniência do personagem, n_j o nó adjacente para onde o personagem se dirige e VEL_D a velocidade máxima pretendida para este movimento.

O personagem terá de percorrer a totalidade do comprimento da rampa.

O número de fotogramas que compõem a animação será dado pelo tecto[6] da razão entre o comprimento da rampa e a referida velocidade:

- $n = \lceil s_{ij} / VEL_D \rceil$.

Dada a natureza rectilínea do movimento, a velocidade angular será nula:

- $vel_a = 0.0$.

A velocidade horizontal será dada pela razão entre o comprimento da projecção da rampa no plano OXY e o número de fotogramas:

- $vel_h = p_{ij} / n$.

A velocidade vertical será dada pela razão entre o desnível da rampa e o número de fotogramas:

- $vel_v = h_{ij} / n$.

[6] Poderá usar-se a função Math.ceil() [6].

Movimento *E*

Seja n_i o nó de proveniência do personagem, n_j o nó adjacente em que o personagem vai entrar, $RAIO_F$ o raio de curvatura pretendido para o movimento circular retrógrado *F* e VEL_E a velocidade máxima pretendida para o movimento *E* (Figura 4).

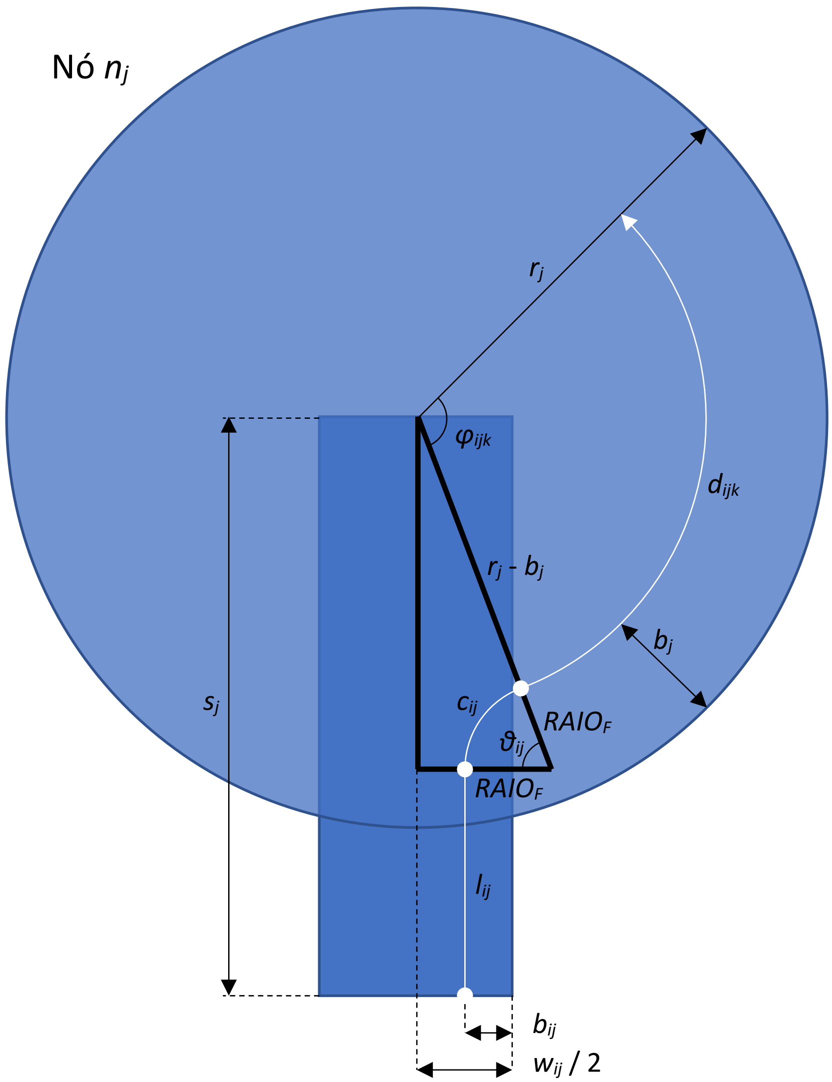

Figura 4 – Entrada em um nó

O personagem terá de percorrer apenas uma parte do comprimento do elemento de ligação, a qual poderá ser determinada com o auxílio do triângulo rectângulo representado na figura.

O comprimento da hipotenusa do triângulo rectângulo será dado pela equação:

- $hip = \mathrm{r_j} - b_j + RAIO_F$.

O comprimento do cateto transversal será dado pela equação:

- $cat_{trans} = w_{ij} / 2.0 - b_{ij} + RAIO_F$.

Aplicando o teorema de Pitágoras, obtém-se para o comprimento do cateto longitudinal:

- $cat_{long} = \sqrt{}(hip^2 - cat_{trans}^2)$.

O comprimento do percurso será dado pelo comprimento do elemento de ligação subtraído do comprimento do cateto longitudinal:

- $l_{ij} = s_j - cat_{long}$.

O número de fotogramas que compõem a animação será dado pelo tecto da razão entre o comprimento do percurso e a velocidade:

- $n = \lceil l_{ij} / VEL_E \rceil$.

Dada a natureza rectilínea do movimento, a velocidade angular será nula:

- $vel_a = 0.0$.

A velocidade horizontal será dada pela razão entre o comprimento do percurso e o número de fotogramas:

- $vel_h = l_{ij} / n$.

Uma vez que o elemento de ligação é horizontal, a velocidade vertical será nula:

- $vel_v = 0.0$.

Movimento *C*

Seja n_j o nó de onde o personagem vai sair, n_k o nó adjacente para onde o personagem se dirige, $RAIO_B$ o raio de curvatura pretendido para o movimento circular retrógrado B e VEL_C a velocidade máxima pretendida para o movimento C (Figura 5).

Aplicando um raciocínio idêntico ao usado na preparação do movimento *E*, verifica-se que o personagem terá de percorrer apenas uma parte do comprimento do elemento de ligação, a qual poderá ser determinada com o auxílio do triângulo rectângulo representado na figura.

O comprimento da hipotenusa do triângulo rectângulo será dado pela equação:

- $hip = \mathrm{r_j} - b_j + RAIO_B$.

O comprimento do cateto transversal será dado pela equação:

- $cat_{trans} = w_{jk} / 2.0 - b_{jk} + RAIO_B$.

Aplicando o teorema de Pitágoras, obtém-se para o comprimento do cateto longitudinal:

- $cat_{long} = \sqrt{}(hip^2 - cat_{trans}^2)$.

O comprimento do percurso será dado pelo comprimento do elemento de ligação subtraído do comprimento do cateto longitudinal:

- $l_{jk} = s_j - cat_{long}$.

O número de fotogramas que compõem a animação será dado pelo tecto da razão entre o comprimento do percurso e a velocidade:

- $n = \lceil l_{jk} / VEL_C \rceil$.

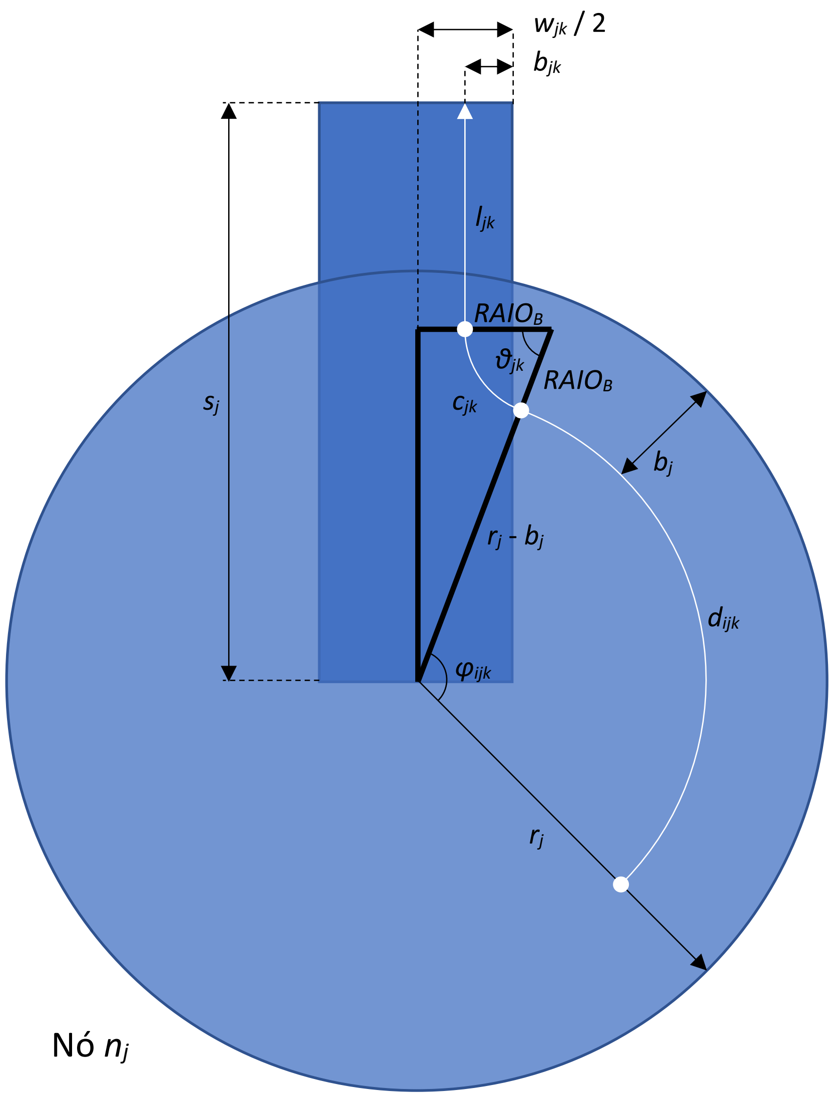

Figura 5 – Saída de um nó

Dada a natureza rectilínea do movimento, a velocidade angular será nula:

- $vel_a = 0.0$.

A velocidade horizontal será dada pela razão entre o comprimento do percurso e o número de fotogramas:

- $vel_h = l_{jk} / n$.

Uma vez que o elemento de ligação é horizontal, a velocidade vertical será nula:

- $vel_v = 0.0$.

Movimento *F*

Seja n_i o nó de proveniência do personagem, n_j o nó adjacente em que o personagem vai entrar, $RAIO_F$ o raio de curvatura do movimento e VEL_F a velocidade máxima pretendida (Figura 4).

O personagem deverá percorrer no sentido retrógrado um arco de circunferência de raio $RAIO_F$ que subentenda um ângulo de ϑ_{ij} radianos. Os valores do ângulo subentendido e do comprimento do arco poderão ser determinados com o auxílio do triângulo rectângulo representado na figura.

O comprimento da hipotenusa do triângulo rectângulo será dado pela equação:

- $hip = \mathrm{r}_\mathrm{j} - b_j + RAIO_F$.

O comprimento do cateto transversal será dado pela equação:

- $cat_{trans} = w_{ij} / 2.0 - b_{ij} + RAIO_F$.

O ângulo subentendido e o comprimento do arco a percorrer serão dados pelas equações:

- $\vartheta_{ij} = \arccos$[7](cat_{trans} / hip);
- $c_{ij} = RAIO_F * \vartheta_{ij}$.

O número de fotogramas que compõem a animação e os valores das velocidades angular, horizontal e vertical serão dados pelas seguintes equações:

- $n = \lceil c_{ij} / VEL_F \rceil$;
- $vel_a = -\vartheta_{ij} / n$[8];
- $vel_h = 2.0 * RAIO_F * \sin(\vartheta_{ij} / n / 2.0)$[9];
- $vel_v = 0.0$.

Movimento *B*

Seja n_j o nó de onde o personagem vai sair, n_k o nó adjacente para onde o personagem se dirige, $RAIO_B$ o raio de curvatura do movimento e VEL_B a velocidade máxima pretendida (Figura 5).

Aplicando um raciocínio idêntico ao usado na preparação do movimento *F*, verifica-se que o personagem deverá percorrer no sentido retrógrado um arco de circunferência de raio $RAIO_B$ que subentenda um

[7] Poderá usar-se a função Math.acos() [4].
[8] O sinal negativo reflecte o sentido retrógrado pretendido.
[9] Recorde-se que, em cada fotograma, o personagem percorrerá, não um arco de circunferência, mas a corda correspondente.

ângulo de ϑ_{jk} radianos. Os valores do ângulo subentendido e do comprimento do arco poderão ser determinados com o auxílio do triângulo rectângulo representado na figura.

O comprimento da hipotenusa do triângulo rectângulo será dado pela equação:

- $hip = r_j - b_j + RAIO_B$.

O comprimento do cateto transversal será dado pela equação:

- $cat_{trans} = w_{jk} / 2.0 - b_{jk} + RAIO_B$.

O ângulo subentendido e o comprimento do arco a percorrer serão dados pelas equações:

- $\vartheta_{jk} = \arccos(cat_{trans} / hip)$;
- $c_{jk} = RAIO_B * \vartheta_{jk}$.

O número de fotogramas que compõem a animação e os valores das velocidades angular, horizontal e vertical serão dados pelas seguintes equações:

- $n = [c_{jk} / VEL_B]$;
- $vel_a = -\vartheta_{jk} / n$;
- $vel_h = 2.0 * RAIO_B * \sin(\vartheta_{jk} / n / 2.0)$;
- $vel_v = 0.0$.

Movimento *A*

Seja n_i o nó de proveniência do personagem, n_j o nó adjacente em que o personagem se encontra, n_k o nó adjacente para onde o personagem se dirige e VEL_A a velocidade máxima pretendida para este movimento (Figura 4 e Figura 5).

O personagem deverá percorrer no sentido directo um arco de circunferência de raio (r_j - b_j) que subentenda um ângulo de φ_{ijk} radianos. O ângulo subentendido será obtido calculando a diferença entre as orientações dos arcos a_{jk} e a_{ji} e subtraindo os ângulos complementares[10] dos ângulos ϑ_{ij} e ϑ_{jk}:

- $\varphi_{ijk} = \alpha_{jk} - \alpha_{ji} - (\pi / 2.0 - \vartheta_{ij}) - (\pi / 2.0 - \vartheta_{jk})$.

Sabendo que $\alpha_{ji} = \alpha_{ij} - \pi$, ter-se-á:

- $\varphi_{ijk} = \alpha_{jk} - (\alpha_{ij} - \pi) - (\pi / 2.0 - \vartheta_{ij}) - (\pi / 2.0 - \vartheta_{jk})$;
  $\varphi_{ijk} = \alpha_{jk} - \alpha_{ij} + \pi - \pi / 2.0 + \vartheta_{ij} - \pi / 2.0 + \vartheta_{jk}$;
  $\varphi_{ijk} = \alpha_{jk} - \alpha_{ij} + \vartheta_{ij} + \vartheta_{jk}$.

Dado o sentido directo pretendido para o movimento, deverá garantir-se que $\varphi_{ijk} > 0.0$, adicionando 2.0 * π se necessário.

Por outro lado, de modo a evitar que o personagem descreva voltas supérfluas ao círculo, deverá garantir-se que $\varphi_{ijk} \leq 2.0 * \pi$, subtraindo 2.0 * π se necessário.

[10] Diz-se que dois ângulos são complementares quando a sua soma perfaz 90° ou π / 2 radianos [3].

O comprimento do arco será dado pela equação:

- $d_{ijk} = (r_j - b_j) * \varphi_{ijk}$.

O número de fotogramas que compõem a animação e os valores das velocidades angular, horizontal e vertical serão dados pelas seguintes equações:

- $n = [d_{ijk} / VEL_A]$;
- $vel_a = \varphi_{ijk} / n$;
- $vel_h = 2.0 * (r_j - b_j) * \sin(\varphi_{ijk} / n / 2.0)$;
- $vel_v = 0.0$.

Animação de um movimento elementar

A orientação e a localização do personagem no próximo fotograma serão dadas pelas seguintes equações:

- $dir' = dir + vel_a$;
- $x'_P = x_P + vel_h * \cos(dir)$;
- $y'_P = y_P + vel_h * \sin(dir)$;
- $z'_P = z_P + vel_v$.

Dada a natureza automática do movimento, não será necessário efectuar a detecção de colisões, pelo que a orientação e a localização do personagem poderão ser actualizadas incondicionalmente:

- $dir = dir'$;
- $x_p = x'_p$;
- $y_p = y'_p$;
- $z_p = z'_p$.

O número de fotogramas para a conclusão da animação deverá então ser reduzido de uma unidade. Se este número se anular, a animação corrente estará concluída e deverá preparar-se a animação do movimento elementar seguinte.

Inicialização da posição e da orientação do personagem

Para determinar a localização e a orientação do personagem (representadas a vermelho na Figura 6) no nó de origem n_j, poderá imaginar-se que aquele havia concluído o movimento circular retrógrado de entrada no círculo da rotunda, proveniente de um qualquer nó n_i adjacente.

O valor do ângulo subentendido pelo arco de circunferência poderá ser determinado com o auxílio do triângulo rectângulo representado na figura.

O comprimento da hipotenusa do triângulo rectângulo será dado pela equação:

- $hip = \mathrm{r}_\mathrm{j} - b_j + RAIO_F$.

O comprimento do cateto transversal será dado pela equação:

- $cat_{trans} = w_{ij} / 2.0 - b_{ij} + RAIO_F$.

O ângulo subentendido será dado pela equação:

- ϑ_{ij} = arccos(cat_{trans} / hip).

A orientação será obtida adicionando à orientação do arco a_{ji} o ângulo complementar do ângulo ϑ_{ij} e ainda π / 2.0 radianos:

- $dir = \alpha_{ji} + (\pi / 2 - \vartheta_{ij}) + \pi / 2.0;$
  $dir = \alpha_{ji} - \vartheta_{ij} + \pi.$

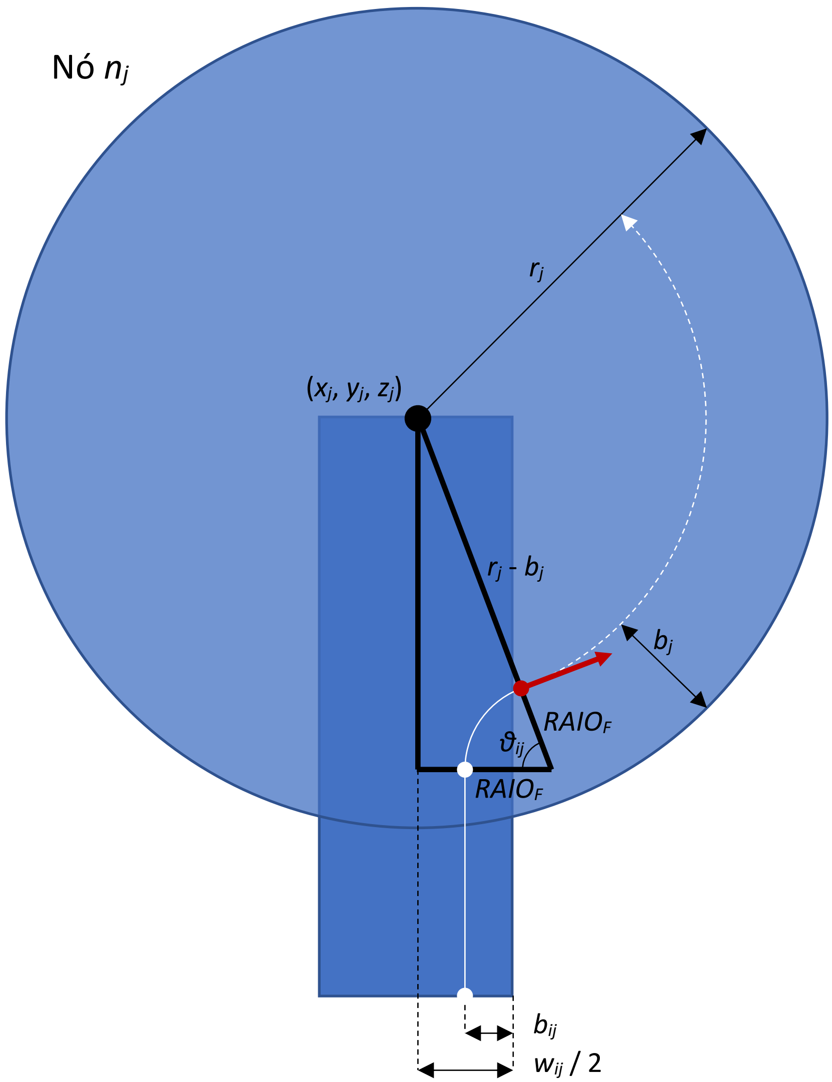

Figura 6 – Localização e orientação iniciais do personagem

Sabendo que $\alpha_{ji} = \alpha_{ij} - \pi$, ter-se-á:

- $dir = \alpha_{ij} - \pi - \vartheta_{ij} + \pi;$
  $dir = \alpha_{ij} - \vartheta_{ij}.$

A localização do personagem poderá ser calculada tomando o centro do círculo como referência:

- $x_P = x_j + (r_j - b_j) * \sin(dir)$;
- $y_P = y_j - (r_j - b_j) * \cos(dir)$;
- $z_P = z_j + ALTURA\_PERSONAGEM / 2.0$.

Observações

Não obstante os cuidados referidos na secção Movimento *A* aquando da determinação do valor de φ_{ijk}, poderá acontecer que, no movimento *A*, o personagem descreva uma volta aparentemente desnecessária ao círculo de uma rotunda. Não se trata de um erro. Sucede que, consoante os valores que forem definidos para o raio do círculo e para os raios de curvatura dos movimentos *F* e *B*, seja fisicamente impossível percorrer a sucessão de movimentos *F*, *A* e *B* sem executar uma volta suplementar. Este comportamento poderá ser evitado reduzindo os valores de $RAIO_F$ e $RAIO_B$ e/ou aumentando o valor de *K_CIRCULO*. Caso se opte pela primeira solução, os valores de VEL_F e VEL_B deverão também ser reduzidos, sob pena de se perder fluidez na animação dos movimentos *F* e *B*.

Colocação do personagem na cena

Dependendo da natureza do personagem, poderá ou não ser necessário incliná-lo nas rampas constituintes dos arcos do grafo.

Se o personagem for bípede e se deslocar a pé, num monociclo ou num *Segway* [2], por exemplo, poderá assumir-se que a sua postura não se afastará significativamente da vertical, pelo que não será necessário incliná-lo. Já os personagens quadrúpedes ou os que se desloquem numa bicicleta, triciclo ou automóvel, entre outros exemplos, terão de ser inclinados. Se for a_{ij} o arco a percorrer, o ângulo de inclinação será igual ao da rampa correspondente: β_{ij}.

Referências

[1] Wikipedia, “Chord,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Chord_(geometry). [Acedido em 20 Setembro 2022].

[2] Wikipedia, “Segway,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Segway. [Acedido em 20 Setembro 2022].

[3] Wikipedia, “Angle: Complementary angles,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Angle#complementary_angle. [Acedido em 20 Setembro 2022].

[4] Mozilla, “Math.acos(),” [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Math/acos. [Acedido em 20 Setembro 2022].

[5] Mozilla, “Math.atan2(),” [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Math/atan2. [Acedido em 20 Setembro 2022].

[6] Mozilla, “Math.ceil(),” [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Reference/Global_Objects/Math/ceil. [Acedido em 20 Setembro 2022].

[7] Three.js, “Object3D: up,” [Online]. Available: https://threejs.org/docs/index.html?q=object3d#api/en/core/Object3D.up. [Acedido em 20 Setembro 2022].