

## التوصية ITU-R S.1256

منهجية تحديد السوية الإجمالية القصوى لكثافة تدفق القدرة  
عند مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض في النطاق 7 075-6 700 MHz  
من وصلات تغذية الأنظمة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة المتنقلة الساتلية  
في الاتجاه فضاء-أرض  
(المسألة ITU-R 206/4)

(1997)

إن جمعية الاتصالات الراديوية التابعة للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن النطاق 7 075-6 700 MHz موزع على أساس أولي على الخدمة الثابتة الساتلية (FSS)، في الاتجاه فضاء-أرض، لكي تستعمله وصلات تغذية الشبكات الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة المتنقلة الساتلية (MSS)؛

ب) أن النطاق 7 075-6 700 MHz موزع كذلك على أساس أولي على الخدمة FSS في الاتجاه أرض-فضاء، وأن النطاق 7 025-6 725 MHz يخضع لأحكام خطة تعيين التذييل 30B للوائح الراديو الخاصة بالشبكات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

ج) أن السوية الإجمالية القصوى لكثافة تدفق القدرة الناتجة داخل زاوية  $\pm 5^\circ$  على جانبي المدار الساتلي المستقر بالنسبة إلى الأرض (GSO) من نظام ساتلي غير مستقر بالنسبة إلى الأرض في الخدمة FSS يجب بموجب الرقم S22.5A من لوائح الراديو ألا تتجاوز -168 dB (W/m<sup>2</sup>) في أي نطاق عرضه 4 kHz؛

د) أن القرار 115 الصادر عن المؤتمر العالمي للاتصالات الراديوية (جنيف، 1995) (WRC-95) يدعو القطاع ITU-R إلى إعداد منهجية تتيح حساب السوية الإجمالية القصوى لكثافة تدفق القدرة التي تنتجها شبكة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض عند مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض؛

هـ) أن الشبكات الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض في الخدمة المتنقلة الساتلية لها معلمات مدارية ومعلمات إرسال متيسرة مثلما هو محدد في الفقرة (vii 3.A) من الملحق 1 بالقرار (Rev. WRC-95) 46،

توصي

1) باتباع المنهجية الواردة في الملحق 1 لتحديد السوية الإجمالية القصوى لكثافة تدفق القدرة (dB(W/m<sup>2</sup>) في أي نطاق عرضه 4 kHz، وعند أي موقع داخل زاوية ميل  $\pm 5^\circ$  على جانبي المدار GSO، تولدها وصلات التغذية لشبكة ساتلية غير مستقرة بالنسبة إلى الأرض عاملة في النطاق 7 075-6 700 MHz، في الاتجاه فضاء-أرض.

## الملحق 1

## المنهجية

## 1 وصف المنهجية

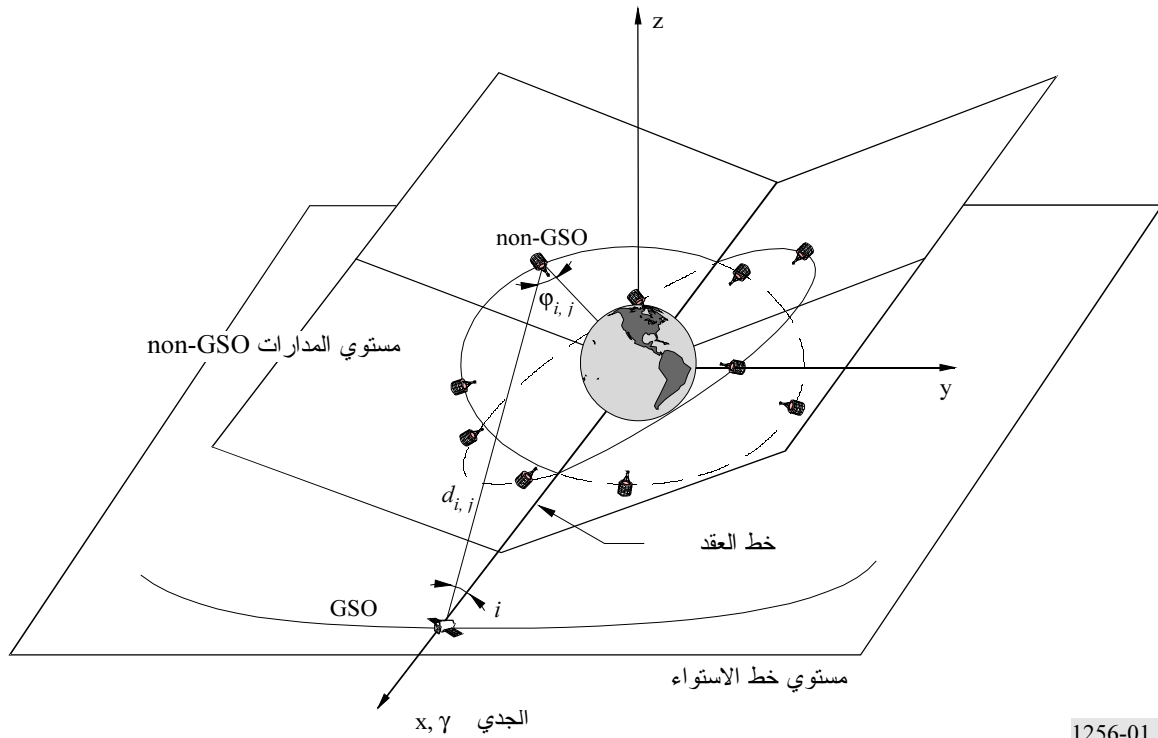
لحساب السوية الإجمالية لكثافة تدفق القدرة من شبكة ساتلية في مدار غير مستقر بالنسبة إلى الأرض (non-GSO) إلى موقع اختبار معين في المدار GSO، يجب اللجوء إلى نمذجة حاسوبية لكل الكوكبة الساتلية غير المستقرة بالنسبة إلى الأرض ولموقع الاختبار في المدار GSO.

إذا انطلقنا من كون الساتل GSO، في حالة عادية، يجب المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض في دور يبلغ حوالي 24 ساعة ( $T_{GSO} = 24$  h) وأن الدور المداري لساتل non-GSO ( $T_{non-GSO}$ ) ليس بالضرورة من قواسم الدور  $T_{GSO}$ ، فقد تكون هناك حاجة إلى إجراء محاكاة إحصائية مفصلة وطويلة لتقييم سيناريو أسوأ حالة، الذي يؤدي إلى السوية الإجمالية القصوى لكثافة تدفق القدرة عند نقطة ما من المدار GSO.

يمكن القيام بمحاكاة بسيطة وأقصر بكثير لتقييم كثافة تدفق القدرة القصوى عند أي نقطة من المدار GSO. وبدلاً من سائل يتنقل فعلاً على المدار GSO، ينظر إلى موقع اختبار ثابت على المدار GSO، يكون موقعه المداري ثابتاً بالنسبة إلى جملة إحداثيات ديكارتية Oxyz (انظر الشكل 1) وليس بالنسبة إلى جملة إحداثيات أرضية وهي تدور. مع أخذ هذا الأمر في الاعتبار، فإن كون السواتل non-GSO لها دور  $T_{non-GSO}$  يعني أن موقع السواتل non-GSO، مرئياً من نقطة الاختبار الثابتة على المدار GSO (انظر الشكل 1)، يتكرر على الأقل مرة واحدة في كل دور  $T_{non-GSO}$ . علاوة على ذلك، إذا كانت السواتل non-GSO موزعة بانتظام على كل مستوى مداري، فإن نفس الترتيب الهندسي للسواتل non-GSO سوف يتكرر حسب دور يساوي  $T_{non-GSO}/N_s$  (حيث  $N_s$  هو عدد السواتل non-GSO الموزعة بانتظام في مستوى واحد). استناداً إلى هذه الاعتبارات الأساسية، سيكون للسوية الإجمالية لكثافة تدفق القدرة (المجمعة على أساس السواتل non-GSO المرئية) عند موقع الاختبار في المدار GSO قيم تتكرر حسب هذا الدور.

الشكل 1

هندسة الكوكبة GSO/non-GSO لحساب pfd:  $\Delta\Omega = 0^\circ$



1256-01

يمكن حساب السوية الإجمالية لكثافة تدفق القدرة لكل مرحلة زمنية. يمكن كذلك حساب كثافة تدفق قدرة قصوى مركبة لموقع الاختبار المنتقى على المدار GSO، أثناء دور المحاكاة الذي يمتد من  $T_0$  إلى  $T_0 + T_{non-GSO}N$ .

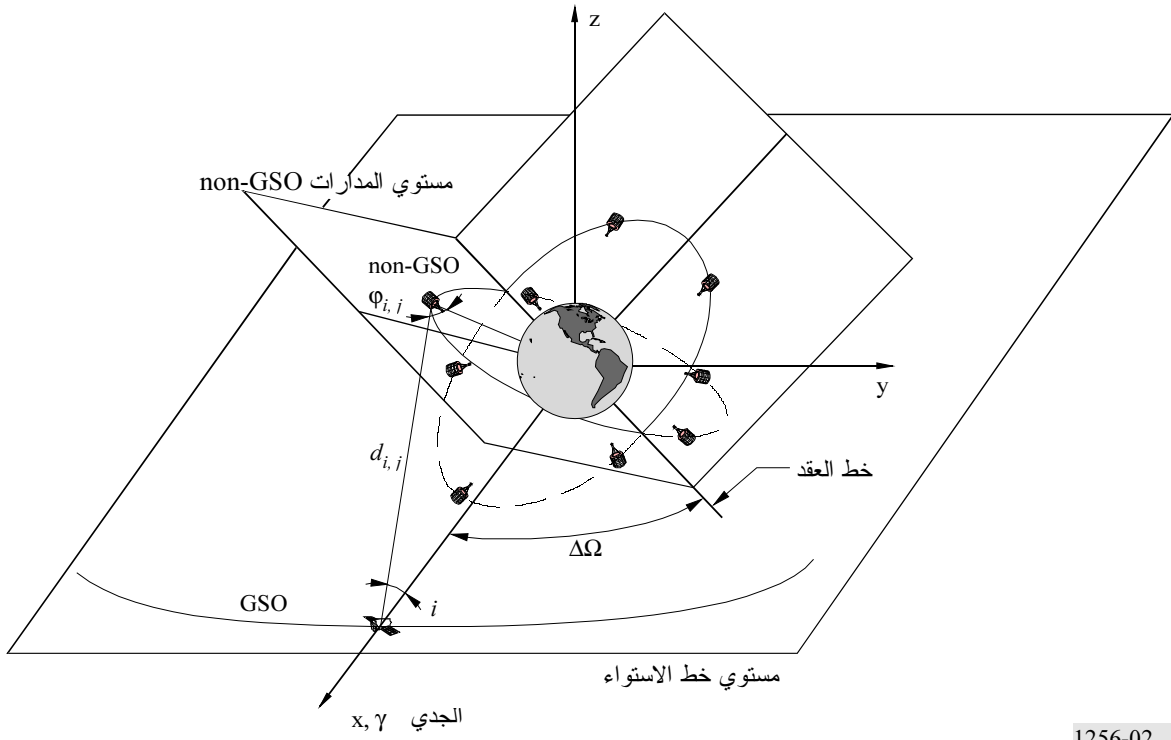
ليست القيمة المتحصل عليها لموقع الاختبار GSO المعين في الشكل 1 بالضرورة أقصى سوية لكثافة تدفق القدرة. وللحصول على السوية القصوى الحقيقية لكثافة تدفق القدرة المركبة، يجب تكرار نفس الإجراء على مواقع الاختبار GSO الأخرى، بزيادة الزاوية  $\Delta\Omega$  (انظر الشكل 2) بين موقع الاختبار على المدار GSO وخط العقد non-GSO. ويجري هذا التكرار مع زوايا  $\Delta\Omega$  تتراوح بين  $0^\circ$  و  $(\Delta\Omega_{max} = 360^\circ/N_p)$ ، حيث  $N_p$  هو عدد مستويات المدارات للسواتل non-GSO. في الحالات التي يكون فيها  $N_p$  زوجياً (كما هو الحال في الكوكبتين LEO-F و LEO-D)، تكون  $\Delta\Omega_{max} = 180^\circ/N_p$ .

يمكن تطبيق هذه الطريقة كذلك على أي كوكبة non-GSO لا تستوفي الشروط المدارية المذكورة أعلاه (مثلاً التوزيع الساتلي غير منتظم، المدارات إهليلجية). في هذه الحالات، تتم المحاكاة الزمنية لمدة من الوقت تساوي الدور الأصغر لقابلية التكرار لتشكيلة الكوكبة، التي تكون غالباً تساوي دور الكوكبة  $T_{non-GSO}$ .

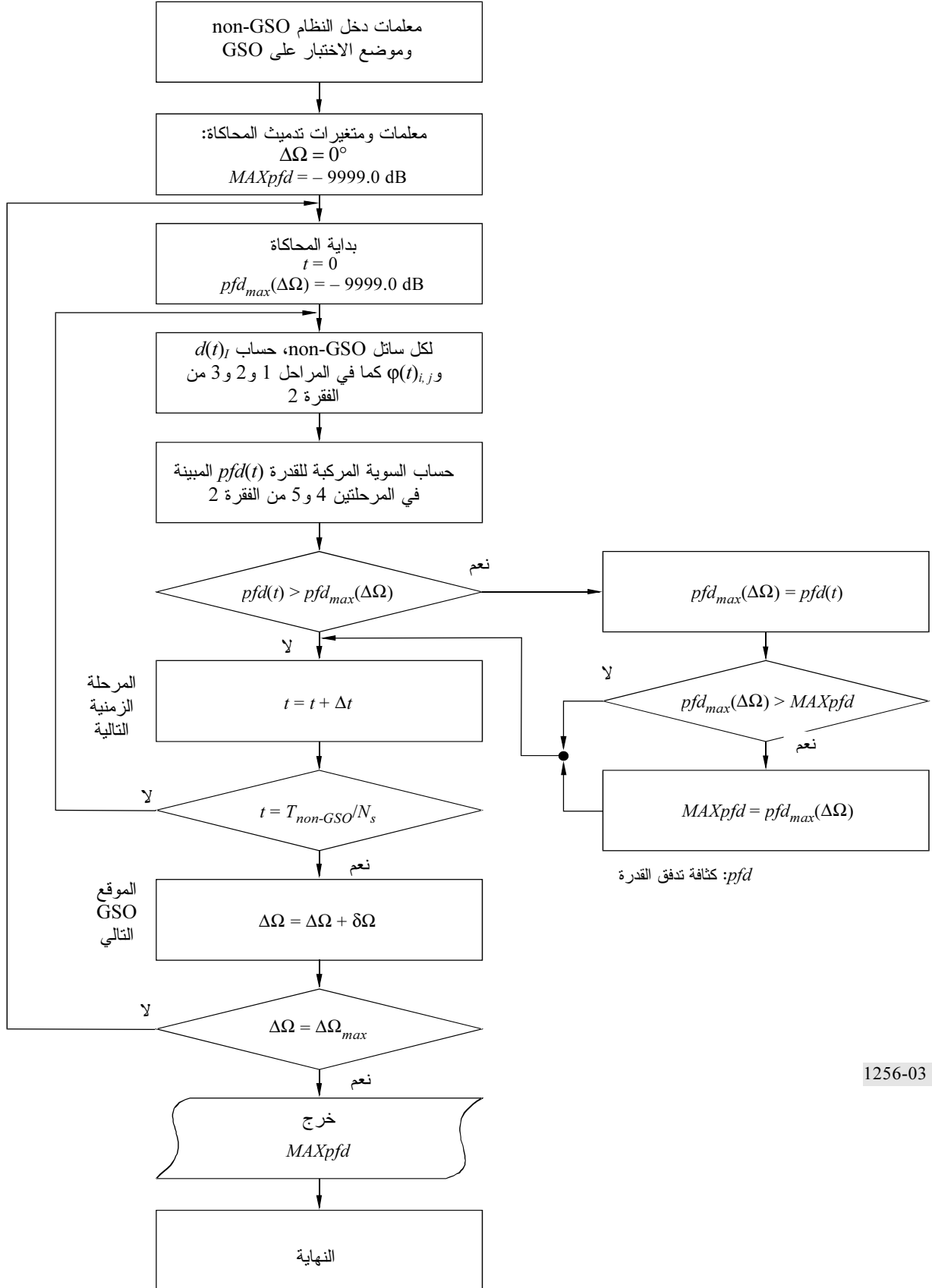
تقدم الفقرة 2 كل المعادلات الأساسية اللازمة لحساب السوية الإجمالية لكثافة تدفق القدرة المستقبلية من شبكة non-GSO معينة في موقع اختبار معين على المدار GSO. يبين الشكل 3 المخطط الانسيابي لبرمجية تنفيذ المنهجية الموصوفة هنا.

الشكل 2

هندسة الكوكبة GSO/non-GSO لحساب كثافة تدفق القدرة:  $\Delta\Omega \neq 0^\circ$

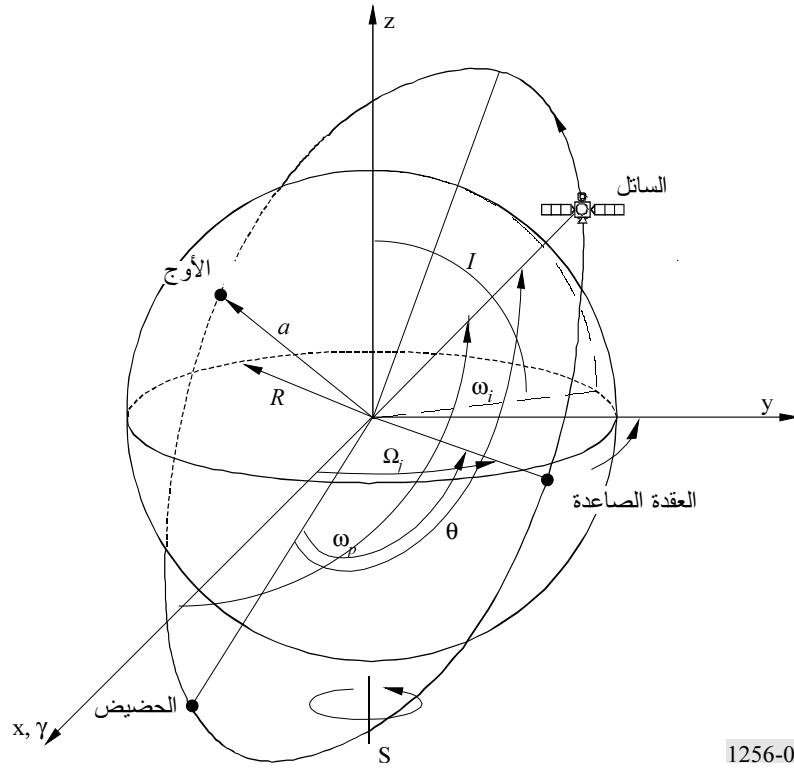


الشكل 3  
مخطط انسيابي منهجي



الشكل 4

## المدار non-GSO والأنظمة المرجعية



1256-04

يبين الشكل 4 مختلف المعلمات الضرورية للقيام بتقييم كامل في أي لحظة لموقع أي سائل non-GSO في مداره. هذه المعلمات معدة على النحو التالي في الفقرة 3.A (vii) من الملحق 1 بالقرار 46 (Rev.WRC-95):

$a$ : نصف المحور الكبير؛ وفي حالة مدار دائري يكون نصف المحور الكبير ثابتاً ومساوياً لنصف قطر المدار؛

$I$ : زاوية ميل المدار بالنسبة إلى مستوي خط الاستواء

$\Omega_i$ : الطالع المستقيم للعقدة الصاعدة للمستوي المداري من الرتبة  $z$ ، مقيساً في عكس اتجاه عقارب الساعة في مستوي خط الاستواء اعتباراً من اتجاه الاعتدال الربيعي إلى النقطة التي يقوم فيها السائل بقطع المستوي الاستوائي في الاتجاه جنوب-شمال ( $0^\circ \leq \Omega_i < 360^\circ$ ).

$\omega_p$ : زاوية الحضيض؛ وفي حالة مدار دائري، الحضيض يساوي الأوج؛ يمكن إذاً كتابة  $\omega_p = 0^\circ$

$\omega_i$ : زاوية الطور الأولية للسائل الذي رتبته  $i$  في مستوي المداري عند اللحظة المرجعية  $t = 0$ ، مقيسة من نقطة العقدة الصاعدة ( $0^\circ \leq \omega_i < 360^\circ$ )

$\theta$ : الزاوية الحقيقية للسائل.

بالنسبة لسواتل non-GSO تستعمل مدارات دائرية، سوف تكون المعلمتان  $a$  و  $I$  ثابتتين وتكون  $\omega_p$  تساوي صفراً. في هذه الحالة، يتحدد تغير موقع كل سائل بواسطة  $\Omega$  و  $\theta$ .

وفي حالة مدار دائري، تكون السرعة الزاوية لساتل ما ثابتة. إذاً فالموقع الزاوي لساتل ما يساوي زاويته الحضيضية الحقيقية وتعطى بالمعادلة التالية:

$$(1) \quad \theta(t)_{i,j} = \frac{360^\circ}{T} t + \omega_{i,j}$$

من أجل  $i = 1$  إلى  $N_s$  و  $j = 1$  إلى  $N_p$  حيث  $N_s$  هو عدد السواتل في كل مستوي مداري، و  $N_p$  هو عدد المستويات المدارية و  $T$  هو الدور المداري بالثواني معبراً عنه بالمعادلة التالية:

$$(2) \quad T = 2 \pi \sqrt{a^3/\mu}$$

حيث  $\mu$  هي ثابتة الثقالة المتجه نحو مركز الأرض وهي تساوي  $3.986 \text{ E14}(\text{m}^3\text{s}^{-2})$ .

تتوقف مختلف قيم  $\Omega_j$  على هندسة الكوكبة وتُعطى في قائمة مجموعة العناصر الموجودة في الفقرة 3.A (vii) من الملحق 1 بالقرار (Rev.WRC-95) 46. وينطبق نفس المبدأ على قيم  $\omega_{i,j}$ .

إذا كنا نعرف لكل ساتل زاويته الحضيضية الحقيقية  $\theta_{i,j}(t)$  والطلع المستقيم لعقدته الصاعدة  $\Omega_j$ ، فإن إحداثياته التي رأسها مركز الأرض تُعطى بالعبارات:

$$(3) \quad x(t)_{i,j} = a \left[ \cos \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} - \cos I \sin \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right]$$

$$(4) \quad y(t)_{i,j} = a \left[ \sin \Omega_j \cos \theta(t)_{i,j} + \cos I \cos \Omega_j \sin \theta(t)_{i,j} \right]$$

$$(5) \quad z(t)_{i,j} = a \left[ \sin I \sin \theta(t)_{i,j} \right]$$

يحدد موضع موقع الاختبار على المدار GSO بالنسبة لخط عقد الكوكبة non-GSO بواسطة  $\Delta\Omega$  (انظر الفقرة 1). ومن ثم فإنه في المعادلات (3) و(4) و(5)  $(\Omega_j = \Omega_{j,0} + \Delta\Omega)$ ، حيث  $\Delta\Omega$  يتراوح بين 0 و  $\Delta\Omega_{max}$  (انظر الفقرة 1) و  $(\Omega_{j,0} = \Omega_j)$  من أجل  $(\Delta\Omega = 0)$ .

المرحلة 2: المسافة بين الساتل non-GSO وموقع الاختبار على المدار GSO

تمثل  $x_{GSO}$  و  $y_{GSO}$  و  $z_{GSO}$  الإحداثيات التي رأسها مركز الأرض لموضع الاختبار على المدار GSO التي تعطى بالعلاقات التالية:

$$(6) \quad x_{GSO} = a_{GSO} \cdot \cos I_{GSO}$$

$$(7) \quad y_{GSO} = 0$$

$$(8) \quad z_{GSO} = a_{GSO} \cdot \sin I_{GSO}$$

حيث:

$a_{GSO}$ : نصف المحور الكبير للمدار المستقر بالنسبة إلى الأرض (km 42 164)

$I_{GSO}$ : زاوية ميل المدار المستقر بالنسبة إلى الأرض  $(-5^\circ \leq I_{GSO} \leq 5^\circ)$ .

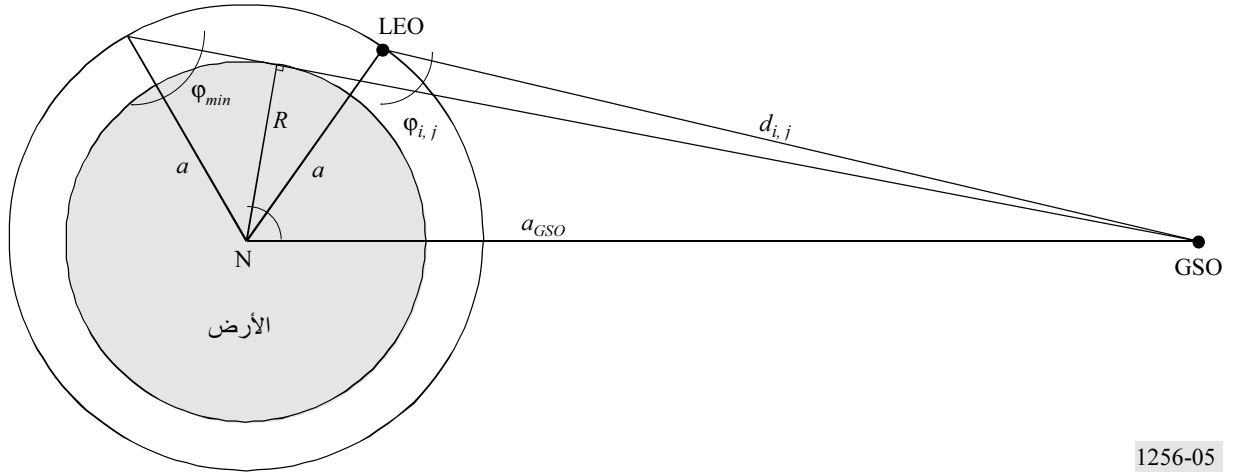
تبقى هذه المعادلات ثابتة أثناء المحاكاة إذ إنه من الأسهل تغيير  $\Omega_j$  في المعادلات (3) و(4) و(5) بزيادة التخالف  $\Delta\Omega$ .

يمكن عندئذ حساب المسافة بين ساتل non-GSO وموضع الاختبار على المدار GSO بتطبيق نظرية فيثاغورس:

$$(9) \quad d(t)_{i,j} = \sqrt{(x_{GSO} - x(t)_{i,j})^2 + y(t)_{i,j}^2 + (z_{GSO} - z(t)_{i,j})^2}$$

المرحلة 3: حساب الزاوية خارج المحور لهوائي الساتل non-GSO في اتجاه موضع الاختبار على المدار GSO يبين الشكل 5، بمخطط ثنائي الأبعاد، هندسة الزاوية خارج المحور لهوائي الساتل non-GSO بالنسبة إلى موضع الاختبار على المدار GSO.

الشكل 5

حساب الزاوية  $\varphi_{i,j}$ 

1256-05

يمكن تحديد الزاوية خارج المحور لهوائي الساتل non-GSO بتطبيق نظرية كارنو (المسماة كذلك "نظرية جيب التمام"):

$$(10) \quad \varphi(t)_{i,j} = \arccos \left( \frac{a^2 + d(t)_{i,j}^2 - a_{GSO}^2}{2ad(t)_{i,j}} \right)$$

المرحلة 4: حساب الكسب خارج المحور لهوائي ساتل non-GSO في اتجاه موضع الاختبار على المدار GSO انطلاقاً من الزاوية خارج المحور المحسوبة في المعادلة (10)، يمكن حساب كسب الهوائي خارج المحور  $G(\varphi(t)_{i,j})$  لكل ساتل مرئي. ولكن ذلك، كما يدل عليه الشكل 5، ليس ضرورياً إلا إذا كانت الزاوية  $\varphi(t)_{i,j}$  أعلى من قيمة دنيا  $\varphi_{min}$  تُحسب على النحو التالي:

$$(11) \quad \varphi_{min} = \arcsin(R/a)$$

المرحلة 5: حساب السوية المركبة لكثافة تدفق القدرة باتجاه موضع الاختبار على المدار GSO

يمكن التعبير عن السوية المركبة لكثافة تدفق القدرة على النحو التالي:

$$(12) \quad pfd(t) = \frac{P_{peak,4kHz}}{4\pi} \sum_{i,j=1toN(t)_v} \frac{G(\varphi(t)_{i,j})}{d(t)_{i,j}^2} \quad \text{for } \varphi(t)_{i,j} \geq \varphi_{min}$$

حيث:

$P_{peak,4kHz}$ : قدرة الذروة في النطاق 4 kHz الأسوأ، عند مدخل هوائي الساتل non-GSO؛ يُفترض أن هذه القيمة

ثابتة ومتساوية لكل السواتل non-GSO

$N(t)_v$ : عدد السواتل non-GSO المرئية من موضع الاختبار على المدار GSO في اللحظة  $t$ .

### 3 العدد الإجمالي لمراحل المحاكاة وزيادة مراحل المحاكاة قفزياً

هناك حاجة إلى مرحلتين محاكاة للقيام بحساب السوية المركبة القصوى لكثافة تدفق القدرة التي تصدر عن شبكة non-GSO باتجاه المدار GSO: المرحلة الزمنية  $\Delta t$  ومرحلة الطالع المستقيم  $\delta\Omega$ .

بما أنه ليس هناك أي تداخل بتراصف مباشر من السوائل non-GSO (التي تستعمل هوائياً ذا كسب متناح ضعيف أو هوائياً يرسل تداخلاً بفصوصه الثانوية)، فإن حالات متنوعة من المحاكاة (لكوكبتي LEO-D و LEO-F) بينت أن درجة زاوية لا تزيد عن  $0,5^\circ$  كافية للحصول على نتائج صالحة. عندئذ تكون درجات الحساب هي:

$$\Delta t = \frac{T(s) \times 0,5^\circ}{360^\circ}$$

$$\delta \Omega = 0,5^\circ$$

تعطي الفقرة 1 المدة الإجمالية للمحاكاة لكل موضع اختبار على المدار GSO وللعدد الإجمالي لمواضع الاختبار على المدار GSO.