

XÁC ĐỊNH ĐIỀU KIỆN LAN TRUYỀN SÓNG VÔ TUYẾN TRONG KHÍ QUYỂN KHU VỰC HÀ NỘI SỬ DỤNG SỐ LIỆU CẮT LỚP VÔ TUYẾN

Phạm Chí Công*, Nguyễn Xuân Anh⁺, Trần Hoài Trung⁺⁺

* Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa

⁺ Viện Vật lý Địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

⁺⁺ Trường Đại học Giao thông – Vận tải.

Tóm tắt— Bài báo sử dụng số liệu cắt lớp vô tuyến của vệ tinh COSMIC để xác định độ khúc xạ vô tuyến và điều kiện lan truyền sóng trong khí quyển tầng đối lưu khu vực Hà Nội. Phương pháp sử dụng có ưu điểm là cho phép xác định được cấu trúc không gian của độ khúc xạ vô tuyến trong phạm vi rộng, dùng được các kết quả đo viễn thám trước đó ở các độ cao khác nhau và trong khoảng thời gian dài. Nội dung nghiên cứu sử dụng số liệu cắt lớp vô tuyến các năm 2014-2016 chỉ ra độ khúc xạ vô tuyến có xu hướng giảm theo độ cao, giá trị độ khúc xạ vô tuyến trung bình cao nhất là 368 N-units, chênh lệch độ khúc xạ vô tuyến lớn nhất giữa các năm thường ở mức 11 N-units, ở độ cao lớn giá trị độ khúc xạ vô tuyến gần giống so với giá trị ở mô hình chuẩn của ITU-R trong khi ở độ cao nhỏ chênh lệch giữa giá trị độ khúc xạ vô tuyến theo mô hình và giá trị quan sát được lên tới 70 N-units, giá trị độ dốc khúc xạ vô tuyến và hệ số bán kính trái đất hiệu dụng được chứng minh là không phụ thuộc vào độ cao. Cuối cùng là đề xuất sử dụng các đo đặc hiện trường ở các độ cao thấp (nếu có thể) để có được chỉ số khúc xạ chính xác khi nghiên cứu về điều kiện truyền sóng trong khí quyển.

Từ khóa— điều kiện truyền sóng, chỉ số khúc xạ vô tuyến, biến thiên chỉ số khúc xạ, k-factor, cắt lớp vô tuyến.

I. GIỚI THIỆU

Sóng vô tuyến đi qua tầng đối lưu khí quyển bị bẻ cong do sự thay đổi chỉ số khúc xạ. Lý thuyết về hướng nghiên cứu này được phát triển từ lâu tiêu biểu là các công trình của [1] [2]. Hệ số bán kính trái đất hiệu dụng (còn gọi là k-factor) là trạng thái khúc xạ của khí quyển ảnh hưởng đến hướng truyền lan tín hiệu vô tuyến. Tuy nhiên, hệ số k phụ thuộc chủ yếu vào biến thiên chỉ số khúc xạ theo phương thẳng đứng mà không phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của chỉ số khúc xạ [3] [4]. Kết quả là sự thay đổi chỉ số khúc

xạ theo độ cao làm cho tia sóng bị uốn cong khi truyền qua các lớp khác nhau trong khí quyển.

Khi xem xét điều kiện truyền sóng vô tuyến trong khí quyển, đầu tiên là phải xác định được chỉ số khúc xạ vô tuyến và phân bố không gian của nó, đây là tham số cơ bản cần phải có là cơ sở cho các nghiên cứu về điều kiện truyền sóng sau này. Một số phương pháp đo chỉ số khúc xạ vô tuyến có ở [1] [5]. Từ chỉ số khúc xạ vô tuyến đã có nhiều phương pháp khác nhau được phát triển để tính toán các thông số cơ bản của khí quyển là nhiệt độ, áp suất, độ ẩm và ngược lại [6] [7] [8]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng đường đi của sóng điện từ bị bẻ cong do sự phân bố không đồng nhất trong không gian của chỉ số khúc xạ gây ra các tác động bất lợi như suy giảm đa đường và giao thoa,

suy giảm do nhiễu xạ trên các chướng ngại vật địa hình hay còn gọi là lỗ vô tuyến [9]. Những hiệu ứng này làm suy yếu hệ thống liên lạc vô tuyến, dẫn đường và radar. Đó là sai số vị trí trong các hệ thống định vị, dẫn đường; làm thay đổi góc tới trong các hệ thống thông tin mặt đất; làm thay đổi vùng bao phủ hiệu dụng của hệ thống ra-đa. Đối với các hệ thống thông tin tầm nhìn thẳng hiện tượng khúc xạ vô tuyến ảnh hưởng đến chiều cao tối thiểu của anten và cự ly truyền sóng. Tuy nhiên, lợi dụng hiện tượng khúc xạ khí quyển như siêu khúc xạ, khúc xạ ống dẫn có thể sử dụng truyền sóng đi xa ngoài phạm vi tầm nhìn thẳng [10] [11]. Truyền sóng tán xạ tầng đối lưu là khi sóng điện từ gặp phải môi trường không đồng nhất về chiết suất và có sự thay đổi gần bằng độ dài của bước sóng thường được nghiên cứu ứng dụng trong thông tin quân sự [12].

Kỹ thuật sử dụng các bộ thu sóng vệ tinh định vị toàn cầu (GNSS) đặt ở vệ tinh tầm thấp trái đất (LEO) đo tín hiệu ở các băng tần L1 (1,57542 GHz ~19 cm) và L2 (1,22760 GHz ~24,4 cm) để nghiên cứu khí quyển dựa trên sự di chuyển tương đối giữa vệ tinh LEO và GNSS, kết quả là ở trong vùng che khuất, tín hiệu GNSS thu được có thể quét qua bề mặt khí quyển trái đất theo các lớp cắt dọc trục ở các độ cao khác nhau nên được gọi là cắt lớp vô tuyến (GNSS-RO) [13] [14]. Thông qua phương pháp cắt lớp vô tuyến một số thông số như mật độ, nhiệt độ, áp suất và hơi nước có thể tính được. Hiện nay nhiều vệ tinh tầm thấp LEO được phóng lên quỹ đạo để thu thập dữ liệu cắt lớp

Tác giả liên hệ: Phạm Chí Công,

Email: phamchicong@gmail.com

Đến tòa soạn: 20/8/2021, chỉnh sửa: 8/11/2021, chấp nhận đăng: 10/12/2021.

nếu: GPS/MET (Mỹ), CHAMP (Đức), SAC-C (Argentina), Orsted (Đan Mạch), COSMIC-1/FORMOSAT-3 (Mỹ và Đài Loan-Trung Quốc), FedSat (Úc), ACE+ (Châu Âu), ... Phương pháp cắt lớp vô tuyến có ưu điểm là vùng phủ rộng, độ chính xác cao, khả dụng trong mọi điều kiện thời tiết. Đặc biệt là có độ hội tụ số liệu cao giữa các nhiệm vụ không gian và các vệ tinh khác nhau [15].

Khu vực Hà Nội nằm xung quanh vĩ độ 21,01 và kinh độ 105,80 mang đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa. Bài báo sử dụng số liệu cắt lớp vô tuyến của vệ tinh COSMIC-1 các năm 2014-2016 để xác định cấu trúc không gian của chỉ số khúc xạ vô tuyến. Kết quả được dùng để xác định điều kiện truyền sóng và đánh giá việc áp dụng mô hình chỉ số khúc xạ vô tuyến ITU-R P.453 trong điều kiện khí hậu, địa hình khu vực ở Hà Nội.

II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Tính toán các tham số khí quyển

Chỉ số khúc xạ vô tuyến n được định nghĩa là tỉ số giữa tốc độ truyền sóng điện từ trong chân không (hay không gian tự do) c_0 với tốc độ truyền sóng trong môi trường vật chất c theo công thức [16]:

$$n = \frac{c_0}{c} \quad (1)$$

Giá trị chỉ số khúc xạ vô tuyến n rất gần với 1, nên trong thực tế độ khúc xạ vô tuyến N hay được sử dụng và tính thông qua chỉ số khúc xạ theo công thức [1] [17]:

$$n = 1 + N \cdot 10^{-6} \quad (2)$$

Độ khúc xạ vô tuyến N có thể được tính qua các thông số khí quyển là áp suất, nhiệt độ và độ ẩm như sau [1] [18]:

$$N = 77,6 \frac{P}{T} - 5,6 \frac{e}{T} + 3,75 \cdot 10^5 \frac{e}{T^2} \text{ (N-units)} \quad (3)$$

Trong đó:

P áp suất khí quyển toàn phần (hPa)

e áp suất thành phần hơi nước (hPa)

T nhiệt độ tuyệt đối (°K)

Công thức tính áp suất thành phần hơi nước e (hPa) thông qua độ ẩm tương đối H (%) và áp suất hơi bão hòa e_s (hPa) cũng như tính áp suất hơi bão hòa e_s (hPa) từ nhiệt độ t (°C) và áp suất khí quyển toàn phần P (hPa) có ở [18] [19].

Ở bề mặt trái đất, chỉ số khúc xạ vô tuyến có giá trị $n \approx 1,000350$ tương ứng với giá trị của độ khúc xạ vô tuyến là $N \approx 350$ N-units. Do áp suất và lượng hơi nước trong khí quyển giảm nhanh theo độ cao, trong khi nhiệt độ giảm chậm theo độ cao cho nên chỉ số khúc xạ vô tuyến phụ thuộc vào độ cao và thường giảm khi độ cao tăng ở tầng đối lưu khí quyển.

Theo khuyến nghị của ITU-R P.453 [18], chỉ số khúc xạ vô tuyến phụ thuộc vào độ cao theo hàm số mũ như sau:

$$n(h) = 1 + N_0 \cdot 10^{-6} \cdot \exp(-h/h_0) \quad (4)$$

Ở đây: N_0 (N-units) giá trị trung bình của độ khúc xạ khí quyển so với mực nước biển, h_0 (km) độ cao tham chiếu. N_0 và h_0 có thể được xác định bằng phương pháp thống kê trong các điều kiện khí hậu khác nhau, trong tính toán thường lấy $N_0 = 315$ N-units, $h_0 = 7,35$ km.

Lớp dữ liệu chuẩn (reference profile) có thể được sử dụng để tính toán giá trị của độ khúc xạ N_s ở bề mặt trái đất theo N_0 theo công thức [16] [18]:

$$N_s = N_0 \cdot \exp(-h_s/h_0) \quad (5)$$

Với h_s (km) là độ cao so với mực nước biển.

Do môi trường truyền sóng tầng đối lưu không đồng nhất nên tia sóng bị uốn cong khi đi qua các lớp khác nhau trong khí quyển. Để nghiên cứu hiện tượng khúc xạ khí quyển, phương pháp hay dùng là coi tia sóng lan truyền theo quỹ đạo đi thẳng không phải trên mặt đất cầu bán kính a mà trên mặt cầu giả định có bán kính tương đương R_e . Khi đó hệ số bán kính trái đất hiệu dụng k (còn gọi là k-factor) là tỉ số giữa bán kính tương đương R_e và bán kính thực của trái đất a , $k=R_e/a$. Lấy $a \approx 6370$ km thì hệ số k được tính xấp xỉ theo công thức [3] [20]:

$$k \approx \frac{1}{1 + \frac{dN/dh}{157}} = [1 + \frac{G}{157}]^{-1} \quad (6)$$

Với $G = dN/dh$ là biến thiên độ khúc xạ vô tuyến theo độ cao (gradient) hay độ dốc khúc xạ vô tuyến.

Các giá trị tương ứng của G và k hay sử dụng để tham chiếu qua lại với nhau đó là $G=314$ ($k=0,33$), 157 ($0,5$), 0 (1), -157 (∞), -314 (-1). Ngược lại, các giá trị k và G tương ứng sẽ là $k=1$ ($G=0$), $4/3$ (-39), 2 (-79), ∞ (-157), <1 (>0).

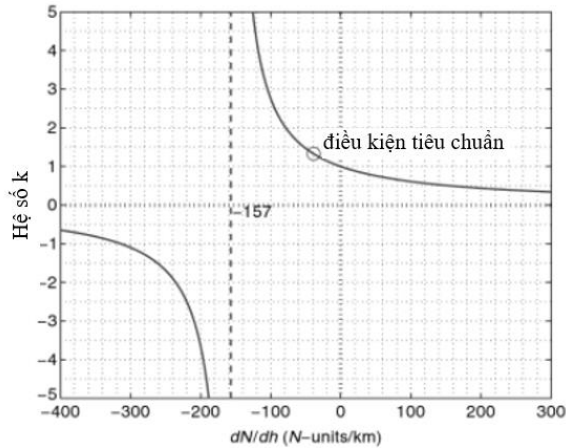
Độ khúc xạ vô tuyến N là tham số cơ bản để nghiên cứu về điều kiện truyền sóng trong khí quyển. Khi nghiên cứu về hiện tượng khúc xạ ống dẫn, tham số M là mô đun khúc xạ (refractive modulus) ở mô hình trái đất phẳng (flat earth) được sử dụng, M phụ thuộc vào cả N (N-units) và độ cao h (km) [16] [18]. Trong lĩnh vực khí tượng vô tuyến, ngoài tham số M còn dùng các tham số khác là A , B cũng đều được tính từ N [1].

2.2. Ảnh hưởng của các tham số khí quyển đến truyền sóng

Nhận thấy từ công thức (6) đó là hệ số k chỉ phụ thuộc G mà không phụ thuộc vào giá trị tuyệt đối của độ khúc xạ vô tuyến N . Đường cong thể hiện mối quan hệ giữa k và G như Hình 1. Biến thiên độ khúc xạ vô tuyến theo độ cao phổ biến ở bề mặt trái đất có giá trị $G = -39$ N-units/km khi đó $k = 4/3$ là giá trị trung bình của tầng đối lưu thực bao quanh trái đất nên gọi là khí quyển tiêu chuẩn hay khí quyển thường. Với $G = -157$ N-units/km có $k = \infty$ khi đó độ cong của tia sóng bằng độ cong thực của trái đất, quỹ đạo tia sóng song song với mặt đất cầu, tia sóng có thể truyền được ra ngoài phạm vi đường chân trời. Trường hợp $G < -157$ N-units/km ($k < 0$), chùm tia lan rộng, sóng vô tuyến bị “mắc kẹt” giống như dẫn sóng trong phạm vi không gian giữa các lớp ở tầng thấp khí quyển và bề mặt trái đất, với độ cong của tia sóng lớn hơn độ cong thực của trái đất. Khi $G > -157$ N-units/km ($k > 0$), độ cong tia sóng nhỏ hơn độ cong thực của trái đất.

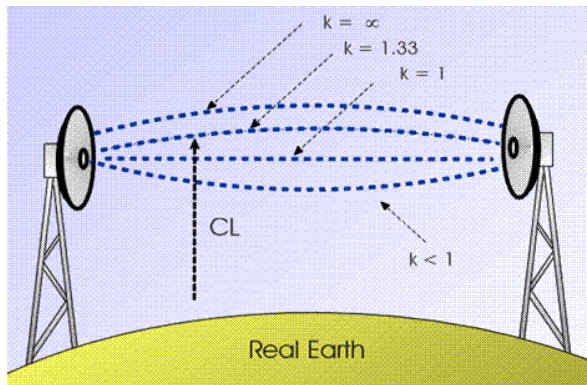
Khi nghiên cứu điều kiện truyền sóng vô tuyến trong khí quyển, điều đầu tiên là phải xác định được phân bố trong không gian độ khúc xạ vô tuyến N , đây là tham số cần phải có. Tiếp theo là phải xác định được hệ số k (hay G) của khí quyển, tham số này sẽ chỉ ra trạng thái của khí quyển ảnh hưởng đến quỹ đạo của tia sóng, cụ thể, khi bán kính cong của tia sóng có giá trị dương là khi tia sóng có bề lõm

hướng xuống dưới thì được gọi là khúc xạ dương, ngược lại bán kính cong của tia sóng có giá trị âm, tia sóng có bề lõm hướng lên trên và gọi là khúc xạ âm.



Hình 1. Sự phụ thuộc của k vào G

Hệ số k (hoặc G) còn được sử dụng để phân loại điều kiện khúc xạ trong khí quyển tầng đối lưu đó là khúc xạ thường (normal refraction) hoặc khí quyển tiêu chuẩn (standard atmosphere), khúc xạ phụ (sub-refraction), siêu khúc xạ (super-refraction) và khúc xạ ống dẫn (ducting) [10] [17]. Cụ thể như sau: $k = 4/3$, truyền sóng trong điều kiện khí quyển thường; $0 < k < 4/3$, điều kiện khúc xạ phụ, độ cong của tia sóng ít hơn khi truyền ở khí quyển thường, hoặc thậm chí bề lõm hướng lên ($k < 1$, $G > 0$); $+\infty > k > 4/3$, điều kiện siêu khúc xạ, độ cong của tia sóng lớn hơn độ cong của khí quyển thường nhưng bé hơn độ cong của trái đất thực; $-\infty < k < 0$, điều kiện khúc xạ ống dẫn, với độ cong của tia sóng lớn hơn độ cong thực của trái đất.



Hình 2. Tia sóng bị uốn cong trong các điều kiện khí quyển khác nhau (các hệ số k khác nhau).

CL (clearance) là khoảng hở được tính từ bề mặt trái đất cầu tới quỹ đạo tia sóng theo phương thẳng đứng.

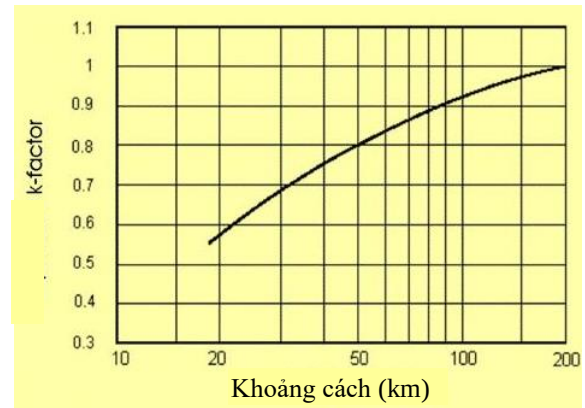
Truyền sóng trong các điều kiện khí quyển khác nhau (hệ số k khác nhau) như ở Hình 2. Với $k > 1$ tia sóng có bề lõm hướng xuống dưới, $k < 1$ tia sóng có bề lõm hướng lên trên, $k = 1$ là khi không xảy ra hiện tượng khúc xạ khí quyển kết quả tia sóng truyền thẳng [16] [21].

Khuyến nghị của ITU-R chỉ ra hệ số k thông thường nằm trong khoảng $4/3 > k > 0,42$ [3]. Trong phạm vi $0,4 < k < 4/3$, dựa vào hệ số k có thể xác định được truyền sóng trong điều kiện thời tiết và địa hình [22] [23] như Bảng 1.

Bảng 1. Điều kiện truyền sóng

Hệ số k	Truyền sóng	Thời tiết	Địa hình
4/3	hoàn hảo	khí quyển tiêu chuẩn	vùng ôn đới, không có sương mù
1 - 4/3	lý tưởng	không có lớp bề mặt, sương mù	khô, núi, không sương mù
2/3 - 1	bình thường	dưới chuẩn, sương mù nhẹ	bằng phẳng, ôn đới, ít sương mù
0,5 - 2/3	khó khăn	lớp bề mặt, sương mù mặt đất	vùng duyên hải
0,4 - 0,5	xấu	sương mù dày đặc, nhiều ẩm	vùng duyên hải, nước, vùng nhiệt đới

Theo ITU-R P.530 [24], khi xét ảnh hưởng của hệ số k đến cự ly truyền sóng trong thông tin tầm nhìn thẳng (LOS), trong phạm vi $1 > k > 0,5$ cự ly truyền sóng tăng với hệ số k tăng như ở Hình 3. Kết quả này cũng giống như ở [22] đối với hệ thống thông tin VHF/UHF.



Hình 3. Quan hệ giữa hệ số k và cự ly truyền sóng

Như vậy thông qua việc xác định hệ số k (hay G), sẽ xác định được loại khúc xạ, quỹ đạo của tia sóng, cự ly và truyền sóng trong điều kiện thời tiết và địa hình.

III. PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

COSMIC-1/FORMOSAT-3 là hệ thống bao gồm các vệ tinh quan trắc khí tượng, tầng điện ly và khí hậu (Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere and Climate-1), là chương trình không gian hợp tác giữa Đài Loan (Trung Quốc) và Mỹ triển khai 3/2006 với việc đưa 6 quả vệ tinh lên quỹ đạo tầm thấp trái đất. Hiện nay chương trình này đã hoàn thành sứ mệnh (năm 2020) và thay thế bằng COSMIC-2/FORMOSAT-7. Dữ liệu cất lớp của vệ tinh COSMIC bao gồm nhiều mức (level) khác nhau, cùng với đó là nhiều loại dữ liệu ở mỗi mức tùy theo cách xử lý số liệu. Số liệu profile âm (ở level 2) sử dụng trong bài báo này là của vệ tinh

COSMIC/FORMOSAT-3 do CDAAC phân phối, yêu cầu phải đăng ký [25]. Số liệu được thu thập trong các năm 2006-2020 bằng câu lệnh curl (ở hệ điều hành linux). Có đặc tả như sau:

```
curl -u username:userpasswd https://cdaac-
www.cosmic.ucar.edu/cdaac/rest/tarservice/data/mission/f
iletype/YYYY.DDD
```

Trong đó:

username, userpasswd: là tên và mật khẩu để truy cập vào hệ thống của CDAAC.

mission: là nhiệm vụ không gian, ở đây là cosmic.

filetype: là kiểu file, ở đây là wetPrf.

YYYY.DDD: là ngày trong năm, ví dụ 2012.305 là ngày thứ 305 ở năm 2012.

Từ năm 2006-2014 (2006.112 - 2014.120) là dữ liệu COSMIC2013 sử dụng phiên bản phần mềm 2013. Từ 2014-2020 (2014.121 - 2020.116) là COSMIC.

Dữ liệu thu thập (tar file - định dạng file trên hệ thống Unix-based) được lưu trong thư mục của từng năm với tổng dung lượng gần 85 GB. Trong một file dữ liệu thu thập có nhiều file profile âm (wetPrf) từ các vệ tinh khác nhau. Thống kê file dữ liệu trong các năm và số lượng file profile âm tương ứng như ở Bảng 2.

Bảng 2. Thu thập số liệu cắt lớp vô tuyến

Năm	File dữ liệu	Profile âm	Năm	File dữ liệu	Profile âm
2006	243	281245	2014	364	429029
2007	365	758682	2015	361	251014
2008	364	718207	2016	361	246530
2009	365	403802	2017	352	126688
2010	365	590234	2018	343	96986
2011	364	416939	2019	202	48729
2012	366	516079	2020	32	2193
2013	365	598377			

Số liệu profile âm có định dạng là netCDF. Đây là định dạng dữ liệu khoa học mở, tự mô tả, cho phép lưu trữ dữ liệu nhiều chiều [26]. Sử dụng câu lệnh *ncdump* (ở hệ điều hành linux) cho phép xem được cấu trúc và dữ liệu có trong file netCDF [27]. Chẳng hạn với file dữ liệu cắt lớp là wetPrf_C001.2014.121.00.02.G27_2014, sử dụng câu lệnh như sau:

```
ncdump -h wetPrf_C001.2014.121.00.02.G27_2014
```

kết quả là xem được các trường dữ liệu (Hình 4) của dữ liệu cắt lớp có trong profile âm, bao gồm các thông số: độ cao so với mực nước biển (*MSL_alt*) từ 0,1 km đến 39,9 km, khoảng cách giữa mỗi lớp dữ liệu là 0,1 km; kinh độ (*Lat*); vĩ độ (*Lon*); độ khúc xạ vô tuyến (*Ref*) có thể được tính từ các thông số áp suất (*Pres*), nhiệt độ (*Temp*), độ ẩm tương đối (*Vp*) như ở công thức (3), ... và một số trường dữ liệu khác.

```
netcdf wetPrf_C001[2014.121.00.02.G27_2014 {
dimensions:
    MSL_alt = 400 ;
variables:
    float MSL_alt(MSL_alt) ;
    MSL_alt.long_name = "Mean Sea Level geometric height" ;
    MSL_alt.units = "km" ;
    MSL_alt.missing_value = "-999" ;
    MSL_alt.FillValue = -999.f ;
    MSL_alt.valid_range = -2.f, 120.f ;

    float Temp(MSL_alt) ; // ...
    float Vp(MSL_alt) ; // ...
    float Pres(MSL_alt) ; // ...
    float Ref(MSL_alt) ; // ...
    float Lat(MSL_alt) ; // ...
    float Lon(MSL_alt) ; // ...
    float Ref_obs(MSL_alt) ; // ...

// global attributes:
}
```

Hình 4. Các trường dữ liệu cắt lớp

Trong phạm vi bán kính 2^0 tính từ vị trí có vĩ độ 21,01 kinh độ 105,80 số ngày có dữ liệu cắt lớp vô tuyến quét qua khu vực Hà Nội được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Số liệu cắt lớp vô tuyến khu vực Hà Nội

Năm	Số ngày	Năm	Số ngày	Năm	Số ngày
2006	-	2012	-	2018	34
2007	-	2013	-	2019	20
2008	-	2014	87	2020	-
2009	-	2015	86		
2010	-	2016	100		
2011	-	2017	48		

Bài báo sử dụng số liệu các năm 2014-2016 do có nhiều số liệu cắt lớp ở khu vực Hà Nội trong các năm này, bởi do trong nhiều năm thậm chí còn không có số liệu cắt lớp. Trên cơ sở thu thập dữ liệu lớp cắt qua khu vực Hà Nội cho phép xác định được cấu trúc không gian của chỉ số khúc xạ vô tuyến n , từ đó xác định được biên thiên độ khúc xạ theo phương thẳng đứng G và hệ số bán kính trái đất hiệu dụng k là cơ sở để xác định đặc điểm lan truyền sóng vô tuyến trong khí quyển khu vực Hà Nội.

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Cấu trúc không gian của độ khúc xạ vô tuyến được xác định dựa trên số liệu ở Bảng 3. Phạm vi giá trị độ khúc xạ vô tuyến trung bình trong các năm 2014-2019 có dữ liệu cắt lớp ở khu vực Hà Nội như ở Bảng 4.

Bảng 4. Phạm vi giá trị độ khúc xạ vô tuyến

Giá trị	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Min (39,9 km)	0,91	1,10	0,92	0,91	0,89	1,32
Max (0,1 km)	367,6	363,3	356,6	353,2	330,3	346,0

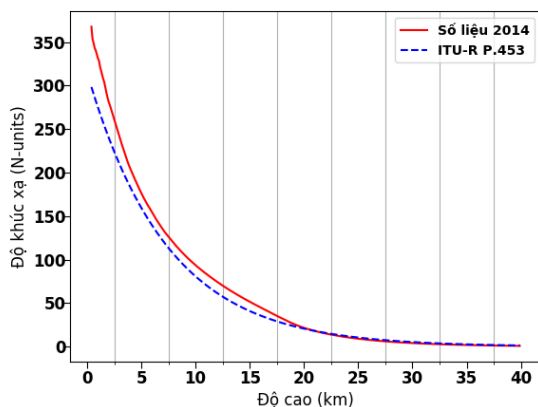
Từ Bảng 4, kết quả cho thấy: giá trị trung bình lớn nhất độ khúc xạ vô tuyến là $330 \div 368$ N-units, phạm vi giá trị độ khúc xạ vô tuyến thấp nhất là $0,89 \div 1,32$ N-units, chênh lệch giá trị lớn nhất độ khúc xạ vô tuyến ở các năm 2014-2016 không quá 11 N-units, nếu tính cả các năm 2017-2019 thì giá trị này lên tới 38 N-units nguyên nhân là do các năm 2017-2019 có ít dữ liệu cắt lớp ở các độ cao thấp tại khu vực Hà Nội mà độ khúc xạ vô tuyến lại có giá trị lớn ở các độ cao thấp cho nên giá trị cao nhất độ khúc xạ vô tuyến các năm 2017-2019 thấp hơn các năm khác. Giá trị thấp nhất độ khúc xạ vô tuyến ở các năm là nhỏ, không có sự thay đổi nhiều, xung quanh mức 1 N-units.

Kết quả tính toán phụ thuộc của độ khúc xạ vô tuyến trung bình theo độ cao như ở Hình 5. Đường nét liền thể hiện số liệu vệ tinh, đường nét đứt là giá trị tính theo mô hình chuẩn của ITU-R P.453, công thức (5). Nhận thấy, đường cong thể hiện sự phụ thuộc độ khúc xạ vô tuyến vào độ cao trong các năm khá tương đồng, giá trị không có sự thay đổi nhiều, gần giống và ở nhiều vị trí có giá trị lớn hơn giá trị tính theo mô hình của ITU-R. Đường cong thể hiện giá trị độ khúc xạ vô tuyến có xu hướng giảm theo độ cao. Ở độ cao dưới 20 km, số liệu vệ tinh lớn hơn so với số liệu từ mô hình và tăng lên ở các độ cao thấp. Ở độ cao từ 20-40 km số liệu vệ tinh gần giống với số liệu từ mô hình. Nguyên nhân là do ảnh hưởng của các yếu tố địa hình, địa vật nhiều hơn ở các độ cao thấp cho nên có sự khác biệt nhiều về giá trị độ khúc xạ ở các độ cao thấp.

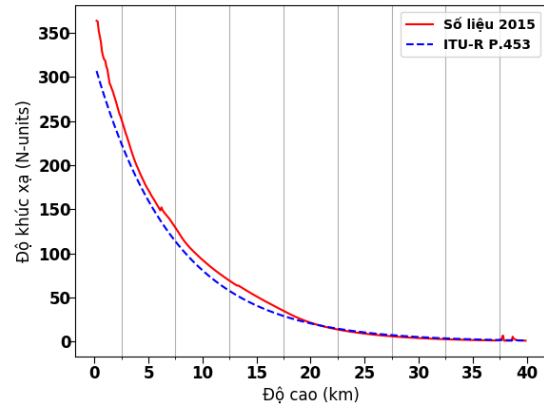
Sự khác biệt giá trị độ khúc xạ vô tuyến quan sát được và giá trị mô hình ITU-R P.453 được tính như công thức:

$$\Delta N = N_h - N_s \text{ (N-units)} \quad (7)$$

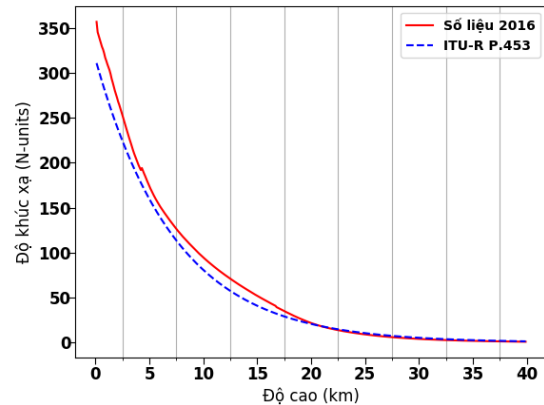
Trong đó: N_h (N-units) là độ khúc xạ quan sát được bằng phương pháp cắt lớp vô tuyến ở độ cao h (km), N_s (N-units) là độ khúc xạ tính theo công thức từ mô hình của ITU-R, công thức (5).



a) năm 2014



b) năm 2015



c) năm 2016

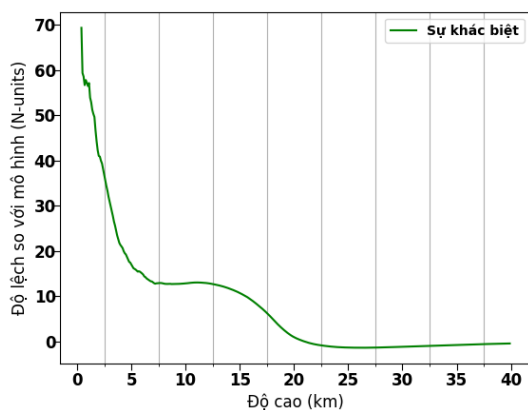
Hình 5. Độ khúc xạ vô tuyến phụ thuộc vào độ cao. Đường nét liền là số liệu vệ tinh, đường nét đứt là giá trị theo mô hình ITU-R P.453

Kết quả tính toán độ lệch tuyệt đối giá trị độ khúc xạ vô tuyến quan sát được và giá trị mô hình như ở Hình 6. Nhận thấy, ở độ cao lớn hơn 20 km sự khác biệt giá trị độ khúc xạ ở mức ± 0 N-units tức là giá trị độ khúc xạ vô tuyến quan sát được gần giống so với giá trị ở mô hình chuẩn. Ở độ cao từ 5-20 km giá trị khác biệt ở mức dưới 20 N-units, độ khúc xạ quan sát được luôn lớn hơn độ khúc xạ từ mô hình. Ở độ cao dưới 5 km, nhìn chung thì độ chênh lệch tăng lên khi độ cao giảm. Chênh lệch giữa giá trị theo mô hình và giá trị quan sát lên tới 70 N-units ở năm 2014, 60 N-units ở năm 2015, 50 N-units ở năm 2016.

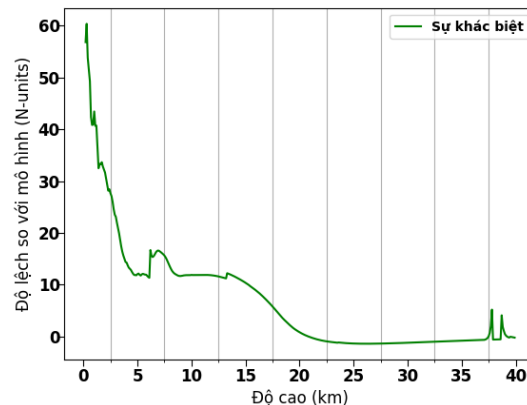
Tính toán biến thiên độ khúc xạ vô tuyến theo độ cao (độ dốc khúc xạ vô tuyến) G cho kết quả như ở Hình 7. Cho thấy, độ dốc khúc xạ vô tuyến G không phụ thuộc vào độ cao. Dù vậy, xét trong toàn dải thì độ dốc khúc xạ vô tuyến có xu hướng tăng khi độ cao tăng. Ở độ cao dưới 2,5 km, biến thiên chỉ số khúc xạ theo độ cao thay đổi quanh giá trị -40 N-unit/km. Ở độ cao từ 5 – 7,5 km và 35 – 40 km, có sự thay đổi bất thường độ dốc khúc xạ trong năm 2015. Năm 2016, cũng có sự thay đổi bất thường độ dốc khúc xạ ở độ cao từ 2,5 – 5 km. Sự thay đổi này được giải thích là do hiện tượng nghịch nhiệt (hay đảo nhiệt), khi mà lớp khí

quyển trên cao có nhiệt độ lớn hơn ở lớp khí quyển bên dưới, dẫn đến chỉ số khúc xạ tăng theo độ cao gây ra sự thay đổi bất thường giá trị của độ dốc khúc xạ. Đây là hiện tượng tự nhiên thường xảy ra với tần suất cao vào mùa đông khi không khí ổn định, đêm kéo dài và có không khí lạnh tràn về. Ở độ cao từ 10-35 km, giá trị độ dốc khúc xạ khá ổn định, do đó không ảnh hưởng nhiều đến hướng truyền của tia sóng.

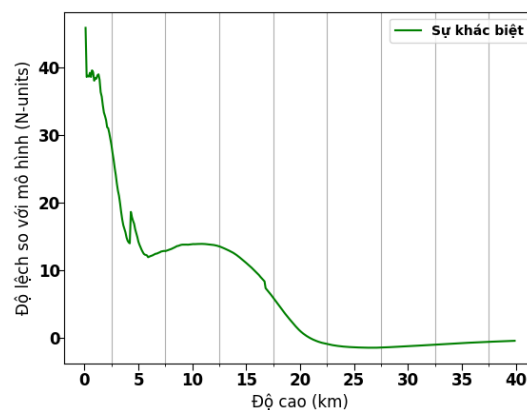
Hệ số bán kính trái đất hiệu dụng k (k-factor) là trạng thái của khí quyển để xác định điều kiện lan truyền của tia sóng như ở Hình 8. Nhận thấy, hệ số k thay đổi giá trị không phụ thuộc vào độ cao. Tuy vậy, xét một cách tổng thể thì hệ số k có xu hướng giảm khi độ cao tăng. Hệ số k luôn có giá trị dương, cho nên không xảy ra hiện tượng khúc xạ ống dẫn trong quá trình truyền sóng. Ở độ cao dưới 2,5 km, những vị trí khi có giá trị $k > 4/3$ sẽ xảy ra hiện tượng siêu khúc xạ khí quyển, khi đó tia sóng có hướng về trái đất và phản xạ ở bề mặt trái đất. Sở dĩ có hiện tượng siêu khúc xạ trong quá trình truyền sóng là do khu vực Hà Nội mang đặc điểm khí hậu nhiệt đới gió mùa, chia thành các mùa (xuân, hạ, thu, đông), hàng năm có nhiều cơn bão, mưa giông mà hiện tượng siêu khúc xạ lại thường liên quan đến bức xạ về đêm (tạo ra không khí ẩm và lạnh ở bề mặt), trước mỗi một cơn giông, bão [28] cho nên có hiện tượng siêu khúc xạ trong quá trình truyền sóng. Năm 2014 và 2016, trong phạm vi trên 10 km hệ số k ít thay đổi trong khoảng $1,2 > k > 1,0$ tia sóng có bề lõm xuống dưới, hướng lan truyền tương đối ổn định, truyền sóng trong điều kiện lý tưởng (theo Bảng 1). Kết quả này cũng giống như năm 2015 trong phạm vi từ 10-35 km.



a) năm 2014

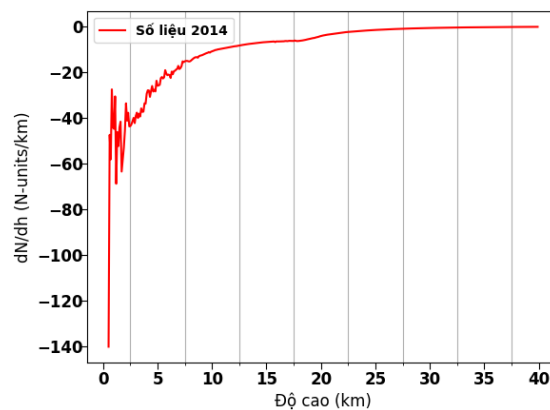


b) năm 2015

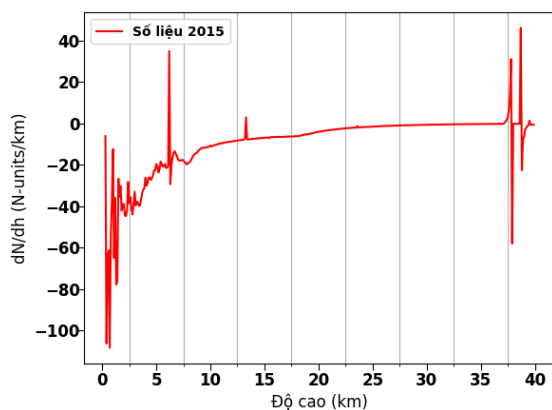


c) năm 2016

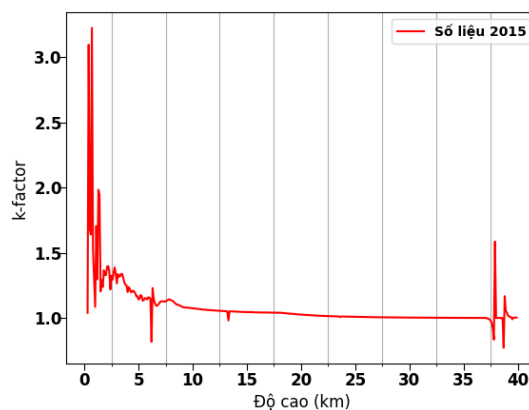
Hình 6. Độ lệch giữa giá trị độ khúc xạ vô tuyến từ phương pháp cắt lớp vô tuyến và giá trị theo mô hình ITU-R P.453



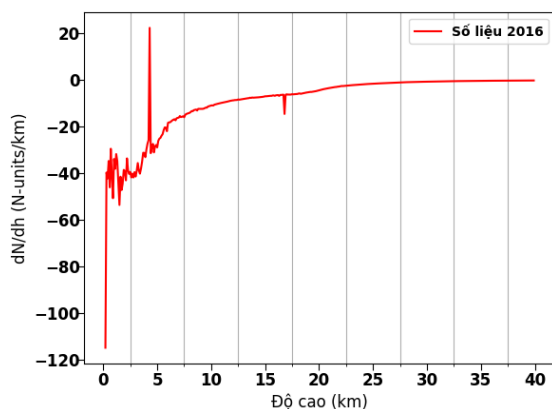
a) năm 2014



b) năm 2015

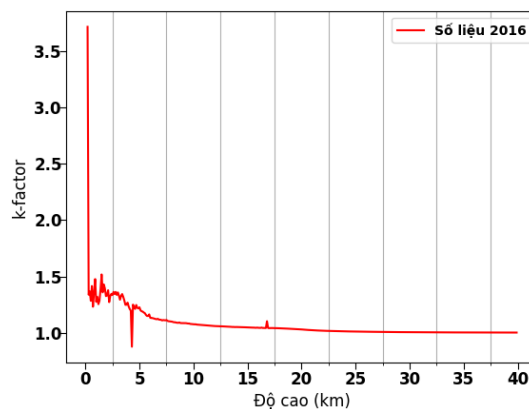


b) năm 2015



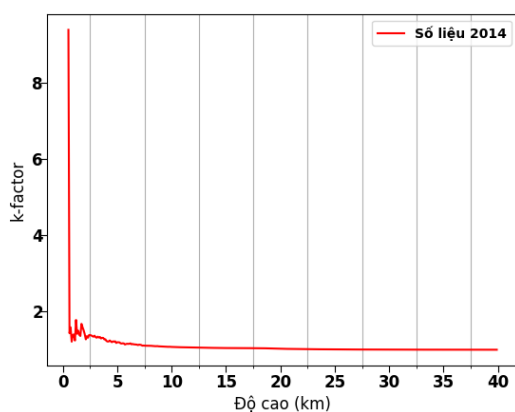
c) năm 2016

Hình 7. Độ dốc khúc xạ vô tuyến theo độ cao



c) năm 2016

Hình 8. Hệ số bán kính trái đất hiệu dụng theo độ cao



a) năm 2014

V. KẾT LUẬN

Dữ liệu cắt lớp của vệ tinh COSMIC là loại dữ liệu hiện trường (in-situ), kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng ở khí quyển tầng thấp, độ khúc xạ quan sát được có sự khác biệt nhiều khi so với giá trị từ mô hình ITU-R P.453, tức là giá trị tính theo mô hình ITU-R ít chính xác ở độ cao thấp, sự khác biệt này lên tới 70 N-units. Do vậy, nhóm nghiên cứu đề xuất sử dụng các số liệu hiện trường ở các độ cao thấp (nếu có thể) để có được chỉ số khúc xạ chính xác khi nghiên cứu về điều kiện truyền sóng trong khí quyển.

Sử dụng số liệu cắt lớp trong các năm 2014-2016 chỉ ra điều kiện truyền sóng ở khu vực Hà Nội đó là: Độ khúc xạ vô tuyến trung bình cao nhất là 368 N-units. Sự chênh lệch độ khúc xạ vô tuyến lớn nhất giữa các năm thường ở mức dưới 11 N-units, có thể lên tới 38 N-units; Hệ số bán kính trái đất hiệu dụng luôn dương cho nên không xảy ra hiện tượng khúc xạ ống dẫn trong quá trình truyền sóng; Hiện tượng nghịch nhiệt xảy ra ở một số độ cao (2,5-5 km, 5-7,5 km, 35-40 km) gây ra sự thay đổi bất thường giá trị của G . Ở độ cao 10-35 km, giá trị G ít thay đổi, tia sóng có hướng lan truyền ổn định, truyền sóng trong điều kiện lý tưởng. Ở độ cao dưới 10 km biến thiên độ khúc xạ thay đổi

nhiều theo độ cao làm ảnh hưởng nhiều đến hướng lan truyền của tia sóng;

Bài báo đưa ra đề xuất sử dụng các số liệu hiện trường để có được chỉ số khúc xạ chính xác thay vì sử dụng mô hình toàn cầu của ITU-R và chỉ ra được đặc điểm lan truyền sóng vô tuyến trong khí quyển khu vực Hà Nội, tuy nhiên, trong tương lai cần kết hợp với các phương pháp khác và cả đo đạc thực tế để có thể kiểm chứng các kết quả trên.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. R. Bean and E. J. Dutton, Radio Meteorology, National Bureau of Standards Monograph 92, U.S. Government Printing Office, 1966.
- [2] E. Smith and S. Weintraub, "The constants in the equation for atmospheric refractive index at radio frequencies," *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, vol. 50, no. 1, pp. 39-41, 1953.
- [3] T. J. Afullo, M. O. Adongo, T. Motsoela and D. F. Molotsi, "Estimates of refractivity gradient and k-factor ranges for Botswana," *The Transactions of the S.A Institute of Electrical Engineers*, 2001.
- [4] I. J. Etokebe, M. U. Kufre and I. A. Ezenugu, "Determination of Atmospheric Effective Earth Radius Factor (k-factor) Under Clear Air in Lagos, Nigeria," *Mathematical and Software Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 30-34, 2016.
- [5] R. E. McGovin, A survey of the techniques for measuring the radio refractive index., U. S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1962.
- [6] G. Hajj, E. Kursinski, L. Romans, W. Bertiger and S. Leroy, "A Technical Description of Atmospheric Sounding By Gps occultation. doi: 10.1016/S1364-6826(01)00114-6," *Journal of Atmospheric and solar-terrestrial physics*, vol. 64, p. 451-469, 2002.
- [7] E. R. Kursinski, G. A. Hajj, K. R. Hardy, L. J. Romans and J. T. Schofield, "Observing tropospheric water vapor by radio occultation using the Global Positioning system," *Geophys. Res Lett.*, vol. 22, pp. 2365-2368, 1995.
- [8] S. Jin, Global Navigation Satellite Systems Signal, Theory and Applications, 2012.
- [9] J. Lavergnat and M. Sylvain, Radio Wave Propagation: Principles and Techniques, John Wiley & Sons., 2000.
- [10] A. T. Adediji, M. O. Ajewole and S. E. Falodun, "Distribution of radio refractivity gradient and effective earth radius factor (k-factor) over Akure, South Western Nigeria," *J. Atmos. Solar-Terrestrial Phys*, vol. 73, p. 2300-2304, 2011.
- [11] E. U. Kingsley and A. Samuel, "Review of Methodology to Obtain Parameters for Radio Wave Propagation at Low Altitudes from Meteorological Data: New Results for Auchi Area in Edo State, Nigeria," *Journal of King Saud University - Science*, vol. 31, no. 4, p. 1445-1451, 2019.
- [12] K. Carlo, *Tropospheric Scatter Communications Systems*, 2012.
- [13] Y. A. Liou, A. G. Pavelyev, S. S. Matyugov and O. I. Yako, Radio Occultation Method for Remote Sensing of the Atmosphere and Ionosphere, InTech, 2010.
- [14] Y.-H. Kuo, S. Sokolovskiy, R. Anthes and F. Vandenberghe, "Assimilation of GPS Radio Occultation Data for Numerical Weather Prediction," *Special issue of Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Science*, vol. 11, no. 1, pp. 157-186, 2000..
- [15] B. Weihua, W. Xianyi, D. Nan, S. Yueqiang, D. Qifei, X. Junming, T. Guangyuan, M. Xiangguang, Z. Danyang, L. Congliang, L. Ziyan and L. Xiaoxu, "Applications of GNSS-RO to Numerical Weather Prediction and Tropical Cyclone Forecast. DOI:10.3390/atmos11111204," *Atmosphere*, vol. 11, no. 1204, 2020.
- [16] M. Trevor, "Microwave Radio Transmission Design Guide, Second Edition," Boston|London, Artech House, 2009, pp. 135-139.
- [17] L. W. Barclay, Propagation of radiowaves, London: Institution of Electrical Engineers, 2013.
- [18] *Recommendation ITU-R No. P.453-14: The Refractive Index: Its Formula and Refractivity Data*, 2019.
- [19] G. Martin and K. Vaclav, Atmospheric Refraction and Propagation in Lower Troposphere, Electromagnetic Waves, InTech, 2011.
- [20] C. A. Levis, J. T. Johnson and F. L. Teixeira, Radiowave propagation : physics and applications, New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- [21] M. Luigi, Point-to-point Radio Link Engineering, Radio engineering services, 2010.
- [22] A. E. A. K. Firas and H. A. Rasha, "An analytic study for the effect of antenna height on line-of-sight VHF/UHF communications coverage distance applied to Baghdad city, DOI :10.21533/PEN.V7I4.964.G473," *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, vol. 7, no. 4, pp. 1965-1976, 2019.
- [23] L. N. Tho, "Basic Radio Propagation & Path engineering," in *ECSE413B: COMMUNICATIONS SYSTEMS II*, 2008.
- [24] *Recommendation ITU-R No. P.530-17: Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems*, 2017.
- [25] "CDAAC: COSMIC Data Analysis and Archive Center," UCAR, [Online]. Available: <https://cdaac-www.cosmic.ucar.edu/cdaac/index.html>. [Accessed 12 September 2021].
- [26] "Network Common Data Form (NetCDF)," UCAR, [Online]. Available: <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf>. [Accessed 12 September 2021].
- [27] "Guide NetCDF Users, NetCDF Utilities," [Online]. Available: https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/documentation/NUG/netcdf_utilities_guide.html#ncdump_guide. [Accessed 1 November 2021].
- [28] S. Park and F. Fabry, "Estimation of Near-Ground Propagation Conditions Using Radar Ground Echo Coverage," *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol. 28, no. 2, pp. 165-180, 2011.

DETERMINATION OF RADIO WAVE PROPAGATION CONDITIONS IN THE ATMOSPHERE OF HANOI USING THE DATA OF RADIO OCCULTATION

Abstract— This article uses the data of moisture profile of COSMIC satellite to determine radio refractivity and wave propagation conditions in the atmosphere of Hanoi area. Using remote sensing data to determine wave propagation conditions in the atmosphere is a powerful tool that has the advantage of being able to use available measurement results at different altitudes and over a wide range. The research results in the three years 2014-2016

with characteristics of tropical monsoon climate in the Hanoi region show the highest average radio refractivity, the maximum radio refractivity difference between the years. Secondly, the paper indicates that at the high altitudes, the radio refractivity value is close to that of the standard model of the ITU-R, while at low altitudes, the difference between the standard model radio refractivity value and the observed value is up to 70 N-units. Thirdly, the coefficients k , and G are proved independent of altitude changes. Finally, it is proposed to use in-situ measurements to obtain an accurate refractive index when studying atmospheric wave propagation conditions.

Keywords— wave propagation condition, radio refractive index, refractivity gradient, k-factor, radio occultation.



Phạm Chí Công, nhận bằng thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật Điện tử năm 2017. Công tác tại Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động. Hướng nghiên cứu chính về truyền sóng, trí tuệ nhân tạo, hệ thống thông minh và internet vạn vật (IoT).



Nguyễn Xuân Anh, nhận bằng tiến sĩ năm 2000 chuyên ngành Vật lý. Công tác tại Viện Vật lý địa cầu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Hướng nghiên cứu chính về hệ thống định vị dẫn đường, LIDAR, đo và phòng chống sét.



Trần Hoài Trung, nhận bằng tiến sĩ năm 2008 chuyên ngành Kỹ thuật Viễn thông. Công tác tại Trường Đại học giao thông Vận tải. Hướng nghiên cứu chính về Thông tin vô tuyến năng cao, Xử lý tín hiệu, thiết kế và chế tạo thiết bị trong Thông tin vô tuyến.